

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Posavec

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Josip Stepanić

Student:

Marko Posavec

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izrado samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija te navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojem mentoru, prof. dr. sc. Josipu Stepaniću na ukazanom povjerenju prihvaćanjem mentorstva za ovaj rad, te za vođenje kroz izradu istog korisnim savjetima.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji, te djevojci Ivani Masnjak na pruženoj podršci tijekom završetka studija.

Marko Posavec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
 Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija zrakoplovstva



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Posavec** Mat. br.: **35962454**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Informacijska entropija pojednostavljenog avionskog informatičko-komunikacijskog sustava temeljenog na smjernicama ARINC**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Information Entropy of Simplified ARINC-based Aircraft Information-Communication System**

Opis zadatka:

Uvodno opisati temeljna svojstva avionskih informatičko-komunikacijskih sustava s naglaskom na vrstu i svojstva podataka koji se unutar njih prikupljaju, izmjenjuju ili obrađuju. Opisati podjelu, osnovna svojstva i načela široko prihvaćenih smjernica ARINC koje se odnose na avionske informatičko-komunikacijske sustave. Navesti uobičajene i očekivane raspodjele podataka unutar informatičko-komunikacijskog sustava aviona u redovitom režimu rada. Navesti literaturu u kojoj se analiziraju navedena svojstva avionskih informatičko-komunikacijskih sustava.

Postaviti referentni model avionskog informatičko-komunikacijskog sustava koji je usklađen sa smjernicama ARINC, a kojeg čine središnja jedinica za obradu podataka i upravljanje te manji broj perifernih jedinica koje predstavljaju avionske osjetnike i instrumente. Procijeniti opsege, vrstu i statističke raspodjele podataka unutar različitih elemenata postavljenog modela za zamišljeni slučaj redovitog leta. Procijeniti promjene raspodjela podataka do kojih dolazi u posebnim slučajevima tijekom zamišljenog leta. Kvantificirati procjene primjenom informacijske, Shannonove entropije.

Analizirati mogućnost mjerenja učestalosti potrebnih za kvantificiranje raspodjela podataka i utemeljeno proračunavanje informacijske entropije. Zaključno analizirati mogućnost i doseg karakterizacije realnih avionskih informatičko-komunikacijskih sustava pomoću informacijske entropije.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
6. prosinca 2012.	7. veljače 2013.	13. – 15. veljače 2013.
Zadatak zadao:		Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Josip Stepanić

Prof. dr. sc. Ivica Smojver

Sadržaj

Sadržaj	1
POPIS SLIKA.....	4
POPIS TABLICA	5
1. SAŽETAK	6
2. UVOD.....	7
3. POVIJEST RAZVOJA ARINC SUSTAVA	9
4. ARINC AKTIVNOSTI I SERVISI	10
4.1. Standardizacija i aktivnosti avio industrije	10
4.2. Standardi ARINC sustava	11
4.2.1. Standardi serije 400	12
4.2.2. Standardi serije 500	13
4.2.3. Standardi serije 600	14
4.2.4. Standardi serije 700	15
4.2.5. Standardi serije 800	16
4.3. ARINC 429	17
4.3.1. Korištenje ARINC 429 standarda.....	18
4.3.2. Ožičenje	20
4.3.3. Karakteristike ARINC protokola.....	22
4.3.4. ARINC 429 format grupe simbola	23
4.3.5. ARINC 429 tipovi podataka	25
5. REFERENTNI MODEL AVIONSKOG INFORMATIČKO-KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA.....	29
6. OPSEG I STATISTIČKA RASPODJELA PODATAKA KORIŠTENIH U POSTAVLJENOM INFORMATIČKO-KOMUNIKACIJSKOM SUSTAVU	33
6.1. Grupe podataka i njihova raspodjela.....	34
7. OPIS REFERENTNIH STANJA	37

7.1.	Informacijska entropija	37
7.2.	Informacijska entropija na postavljenom sustavu	38
7.3.	Opis i dinamika predviđenog stanja.....	40
7.4.	Opis i dinamika stanja s greškom	40
8.	NUMERIČKA SIMULACIJA DINAMIKE MODELIRANOG SUSTAVA.....	44
9.	ANALIZA REZULTATA	48
10.	ZAKLJUČAK.....	51
10.1.	Smjernice za daljnji razvoj sustava	52
LITERATURA		53

POPIS SLIKA

Slika 1. Upletena parica sa uzemljenjem.....	20
Slika 2. Zvezdana topologija za LRU ožičenje	21
Slika 3. Linijska topologija za LRU ožičenje.....	21
Slika 4. Karakteristike jednog vala.....	23
Slika 5. Format ARINC grupe simbola	23
Slika 6. Format BCD grupe simbola.....	26
Slika 7. Primjer formata BCD grupe simbola.....	26
Slika 8. Format BNR grupe simbola.....	26
Slika 9. Primjer BNR kodiranja.....	27
Slika 10. Povezivanje perifernih uređaja sa primarnim zaslonom	29
Slika 11. Povezivanje perifernih uređaja sa računalom i primarnim zaslonom	30
Slika 12. Računanje brzine u zrakoplovu A320	30
Slika 13. Flight Control Unit (FCU) sa gumbom za kontrolu referentne brzine.....	32
Slika 14. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 1000 uzoraka	35
Slika 15. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 300 uzoraka	35
Slika 16. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 100 uzoraka	36
Slika 17. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 100 uzoraka, raspoređenih u 7 kategorija	36
Slika 18. Usporedba 10 entropija za grupe od 1.000, 300 i 100 uzoraka. Polje H je srednja vrijednost 10 entropija po grupi, a polje σ je standardna devijacija za tih 10 entropija	40
Slika 19. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 300 uzoraka u neregularnom sustavu.....	41
Slika 20. Relativna promjena entropije u ovisnosti o skaliranoj razini pogreške.....	43
Slika 21. Shema grupiranja po 300 uzoraka, s korakom od 10 uzoraka.....	45
Slika 22. Ovisnost srednje vrijednosti entropije neregularnog stanja $h(t)$ i pripadnog standardnog odstupanja σ_H o vremenu t . Plava krivulja odnosi se na entropiju (os s lijeve strane grafa), a crvena na standardno odstupanje (os s desne strane grafa). Zelena linija iznosa entropije $H = 5,1782$ je referentna vrijednost.	47

POPIS TABLICA

Tablica 1. Standardi serije 400	12
Tablica 2. Standardi serije 500	13
Tablica 3. Djelomična ARINC 429 specifikacija	19
Tablica 4. Karakteristike ARINC-a 429	22
Tablica 5. Karakteristike ARINC bitova	23
Tablica 6. SSM kodovi za BCD podatke	24
Tablica 7. SSM kodovi za BNR podatke	24
Tablica 8. Primjer diskretnih formata	27
Tablica 9. Generiranje nasumičnih brzina kroz 10 iteracija	34
Tablica 10. Računanje entropije postavljenog sustava	39
Tablica 11. Prosječne vrijednosti entropija H u sustavu s greškom	42
Tablica 12. Izračunavanje entropije u 70 iteracija od po 100 uzoraka brzina	46

1. SAŽETAK

U ovom je diplomskom radu na principijelnoj razini opisan te postavljen model zrakoplovnog informacijsko-komunikacijskog sustava između perifernih, senzorskih jedinica i središnje, upravljačke jedinice. Numeričkom simulacijom obuhvaćena su dva karakteristična stanja modela, model regularne dinamike te model neregularne dinamike. Stanja razlikuje pojava greške, koja je karakterizirana po vrsti, učestalosti i relativnom intenzitetu. Prijenos podataka između elemenata sustava opisan je informacijskom entropijom. Razlika između stanja regularne i neregularne dinamike iskazana je promjenama srednje vrijednosti i standardnog odstupanja informacijske entropije. Na temelju dinamike informacijske entropije postavljenog modela izdvojena su odstupanja stanja od regularnoga koja se mogu uočiti praćenjem promjene informacijske entropije od odstupanja za koja to nije moguće provesti.

2. UVOD

Informacijski sustav jedan je od podsustava organizacijskog sustava, a svrha mu je prikupljanje, obrada, pohranjivanje i distribucija informacija, koje su potrebne za praćenje rada i upravljanje tim organizacijskim sustavom ili nekim njegovim podsustavom. Informacijski sustav predstavlja skup svih resursa (kojih: podataka, metoda, organizacije, tehničkih sredstava) za pružanje informacija (na koji način: prikupljanjem, arhiviranjem, obradom, komunikacijom) potrebnih za donošenje poslovnih odluka u cilju boljeg funkcioniranja organizacijskog sustava.

Ukratko rečeno, informacijski sustav označava fizičke elemente, hardver i softver koji izvršavaju ono što informacijske tehnologije (IT) kreiraju putem inovacija, ideja i kreativnosti [1].

Zrakoplovni informacijski sustavi (*Aeronautical Information Systems*) su grupa sustava koja se koriste za podršku leta zrakoplova te komunikaciju između zrakoplova i stanica na zemlji. Suvremeni informacijsko-komunikacijski sustavi aviona vrlo su složeni. Sastoje se od relativno velikog broja elemenata grupiranih u više hijerarhijskih razina. Tok podataka između elemenata je stalan i propisane strukture. U takvom sustavu nalaze se trenutni i prethodni podaci o stanju svih praćenih cjelina aviona, atmosfere i ostale okoline aviona [2].

Informacijsko-komunikacijski sustavi aviona validirani su prije korištenja. Složenost strukture, brojnost predviđenih regularnih procesa i visoki zahtjevi na pouzdanost rada tih sustava rezultiraju izrazito temeljitom i složenom validacijom. Mogućnost pojave neregularnih stanja sustava, zbog odstupanja od predviđenog funkcioniranja bilo u kojoj njegovoj cjelini, uobičajeno je reda veličine $1:10^9$ ili još manja. U zabilježenim odstupanjima od regularnog stanja uočeno je više uzroka [2].

Ovaj rad temelji se na pretpostavci da određen postotak odstupanja prati dinamika sljedećeg tipa: odstupanja započinju kao varijacije prihvatljivih raspona, narastaju izvan dozvoljenih iznosa kad nastupa detektirano neregularno stanje i provedba posebnih mjera. Za opisanu dinamiku karakteristično je određeno vrijeme narastanja odstupanja tijekom kojega se više puta bilježi stanje cjelina u kojima se odstupanje manifestira.

Za takvu dinamiku odstupanja postavljaju se dvije hipoteze:

- H1: u informacijsko-komunikacijskom sustavu aviona zabilježeno je narastanje odstupanja u više različitih trenutaka, te
- H2: navedeni podaci statistički značajno mijenjaju neke od statističkih mjera toka podataka u sustavu, posebno informacijsku entropiju.

Cjelovita provjera hipoteza zahtijevala bi rad s realnim informacijsko-komunikacijskim sustavom aviona, odnosno pripadnog simulatora. Za potrebe predstavljanja modela i uvođenja kriterija odlučivanja postavljen je principijelni, vrlo pojednostavljeni model informacijsko-komunikacijskog sustava koji se sastoji od jednog izvora podataka u pripadnom kontekstu. Na tom modelu računaju se i uspoređuju srednja vrijednost te standardna nepouzdanost informacijske entropije za stanje bez odstupanja i stanja narastajućeg odstupanja, tj. regularno odnosno neregularno stanje.

3. POVIJEST RAZVOJA ARINC SUSTAVA

Sa pojavom komercijalnog zračnog prijevoza u kasnim 1920-im, četiri tadašnje glavne zrakoplovne kompanije imale su potrebu za komunikacijskim sustavom na kojeg se mogu osloniti. Imenovan od strane Komisije federalnog radija (*Federal Radio Commission*, kasnije poznat kao *Federal Communications Commission*, FCC) kao jedini nositelj licence, 2. prosinca 1929. godine nastala je tvrtka ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated). Tijekom godina, ARINC je evoluirao u dinamičkog, progresivnog lidera za pružanje inženjerskih rješenja u zrakoplovnoj i svemirskoj industriji te u vladi, obrani, mrežama, sigurnosti i transportnoj industriji s više od 150 inovativnih proizvoda i usluga širom svijeta [3].

Danas ARINC i dalje podupire komercijalnu zrakoplovnu industriju, kao i američku vojsku stvaranjem jedinstvenih, svestranih inovacija osmišljenih da budu pouzdane, sigurne, učinkovite te jeftine što je više moguće.

4. ARINC AKTIVNOSTI I SERVISI

4.1. Standardizacija i aktivnosti avio industrije

Iako je ARINC sustav poznat uglavnom po svojim standardima, standardizacija je samo jedan od glavnih područja aktivnosti ARINC-a. Standardizacija i aktivnosti u zrakoplovnoj industriji provode se kroz tri dodijeljena odbora [4]:

1. AEEC (Airlines Electronic Engineering Committee) – koji razvija ARINC standarde
2. AMC (Avionics Maintenance Conference) – održavanje godišnjih avio konferencija
3. FSEMC (Flight Simulator Engineering & Maintenance Conference) – organizira godišnje FSEMC konferencije.

AEEC, AMC i FSEMC pružaju troškovnu učinkovitost, povećavaju produktivnost te smanjuju ukupne troškove zrakoplovnim kompanijama, proizvođačima zrakoplova i zrakoplovnih simulatora, dobavljačima zrakoplovne opreme, kao i pružateljima usluga zrakoplovnog održavanja, obučavanja i komunikacija na način da uspostavljaju zajedničke tehničke standarde i razvijaju zajednička tehnička rješenja koje niti jedna organizacija ne bi mogla razviti samostalno.

Temelj uspjeha tih odbora je kooperacija između članova zrakoplovne zajednice koji sudjeluju u tim aktivnostima. Te aktivnosti postoje kako bi se stvarala vrijednost za korisnike, a vrijednost za korisnike se ne može stvarati bez samih korisnika.

Gospodarske aktivnosti, industrijske aktivnosti koje ARINC organizacija obavlja odnose se na koordinaciju i usluge tajništva za tri aktivnosti zrakoplovne industrije koje su organizirane kroz ARINC. Kooperativno sudjelujući kroz AEEC, inženjeri za avione i kabinsku elektroniku zrakoplovne industrije razvijaju tehničke standarde koji doprinose postizanju sigurnog, globalnog, neprimjetnog i interoperabilnog zrakoplovnog sustava. Sve tri aktivnosti provode međunarodno priznati zrakoplovni inženjeri i oni održavaju konferencije na kojima sudjeluje više od 1000 stručnjaka zrakoplovne industrije, koji predstavljaju više od 70 zračnih prijevoznika i 225 industrija dobavljača iz skoro 40 zemalja širom svijeta. AMC je dokazala prednosti korištenja kooperativnog pristupa

rješavanja avionskih pitanja održavanja, a FSEMC je učinio isto za inženjering simulatora letenja i pitanja održavanja istih.

4.2. Standardi ARINC sustava

ARINC specifikacije podijeljene su u četiri brojeva sustava i dva osnovna tipa. Brojevni sustavi uključuju serije 400, 500, 600, 700 i 800. Grupe se dalje dijele na općenite zahtjeve za konstrukcijom i standarde terminalnih konstrukcija. Zahtjevi za općenitom konstrukcijom uključuju dokumente serije 400 i 600. Specifične terminalne konstrukcije i kriteriji za testiranjem nadalje su određeni serijama 500 i 700. Serija 500 definira stariju, pretežno analognu elektroničku opremu u zrakoplovima koja se većinom i danas koristi u modernim zrakoplovima sa poboljšanom tehnologijom. Dokumenti serije 400 smatraju se ispravama za podršku karakteristika serije 500 elektroničkih zrakoplovne opreme. Slično, dokumenti serije 600 smatraju se dokumentima za podršku karakteristika serije 700 elektroničkih zrakoplovne opreme. Ipak, postoje i iznimke jer su terminali serije 700 digitalni sistemi. Dokumenti serije 500 i 700 opisuju opremu, a između ostalog, definiraju i kako će pojedini instrument funkcionirati, uključujući ulazne i izlazne putanje i za digitalne i za analogne informacije [5].

ARINC standardi definiraju konstrukciju i način ugradnje svega što se tiče područja letenja: od zahtjeva za testiranjem do navigacijskih sustava. Najrasprostranjeniji ARINC standardi su ARINC 419, ARINC 429, ARINC 575, ARINC 615 i ARINC 629. Postoje još mnogi drugi, a većina od serije 500 smatra se zastarjelim. Generalno, 3 specifikacije definiraju karakteristike prijenosa u zrakoplovnoj opremi: ARINC 419, ARINC 429 i ARINC 629. Samo nekoliko specifikacija terminalne zrakoplovne opreme definira njihovu jedinstvenu arhitekturu prijenosa podataka, kao što je npr. slučaj kod ARINC-a 709 koji sadrži sabirnicu velike brzine za prijenos slike radara. ARINC 419 je najstariji i smatra se suvišnim, ali je još uvijek važan sa stanovišta održavanja. Velika većina terminala u zrakoplovnoj opremi upotrebljava ARINC 429 za prijenos podataka između elektroničke opreme u zrakoplovu. Početkom 21. stoljeća jedino se u Boeing 777 ugrađivao ARINC 629.

4.2.1. Standardi serije 400

Serijski standardi 400 uključuju smjernice za instalaciju, podatke i opći vodič. Popis standarda serije 4 prikazan je Tablicom 1.

Tablica 1. Standardi serije 400

Item	Description
404A	404A Air Transport Equipment Cases and Racking
404B-1	404B-1 Connectors, Electrical, Rack and Panel, Rectangular, Rear Release Crimp Contacts
407-1	407-1 ARINC Synchro System Manual (Combined issue of Report 407 and 407-1)
408A	408A Air Transport Indicator Cases and Mounting
413A	413A Guidance for Aircraft Electrical Power Utilization and Transient Protection
419-3	419-3 Digital Data System Compendium
421	421 Guidance for Standard Subdivision of ATA Spec 100 Numbering System for Avionics
422	422 Guidance for Modification Status Indicators and Avionics Service Bulletins
424-13	424-13 Navigation System Data Base
424-15	424-15 Navigation System Data Base
424-16	424-16 Navigation System Data Base
424-17	424-17 Navigation System Data Base
424-18	424-18 Navigation Systems Data Base
424-19	424-19 Navigation Systems Data Base
424-20	424-20 Navigation System Database
428	428 Considerations for Avionics Network Design
429	429 Electronic Diskette Copy of Data Labels in Microsoft Word and Excel Formats
429P1-17	429P1-17 Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS), Part 1, Functional Description, Electrical Interface, Label Assignments and Word Formats
429P2-16	429P2-16 Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS), Part 2 - Discrete Data Standards
429P3-19	429P3-19 Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS) - Part 3 - File Data Transfer Techniques
431	431 No Fault Found - A Case Study

432-1	432-1 Training for Flight Training Equipment Support Personnel
433-1	433-1 Standard Measurements for Flight Simulation Quality
434-1	434-1 Synthetic Training Device (STD) - Life Cycle Support
435	435 Guidelines for Cabin Training Devices
436-1	436-1 Guidelines for Electronic Qualification Test Guide
437-1	437-1 Guidelines For Training Facilities
440	440 Guidelines for the Provisioning and Support of Training Equipment Data
441	441 Guidelines for the Supply of Binary Format Software for Training Purposes
442	442 Guidelines for the Supply of Chart Driven Models/Source Code for Training Purposes
443	443 Data Collection for Visual Databases
444	444 Overview of Export Control Issues for Flight Training Devices
453	453 Very High Speed (VHS) Bus
485P1-1	485P1-1 Cabin Equipment Interfaces, Part 1, Head End Equipment Protocol
485P2-2	485P2-2 Cabin Equipment Interfaces (CEI), part 2, Physical Layer - In-Seat Protocol

Izvor: https://www.arinc.com/cf/store/catalog.cfm?prod_group_id=1&category_group_id=1, 04.11.2012.

Ipak, najznačajniji standardi serije 400 su:

1. ARINC 404: definira faktore zračnog prijevoza, i avionsku opremu koja je instalirana u mnogim tipovima zrakoplova. Imeđu ostalog definira i prijevozna sredstva;
2. ARINC 424: međunarodni standard format za navigacijske podatke zrakoplova
3. ARINC 429: najkorištenija baza standarda u avio industriji. (Više o ovom standardu u poglavlju 4.)

4.2.2. Standardi serije 500

Digitalni prijenos podataka obuhvaćen je ARINC standardom serije 500. Arinc 500 standard definira analognu avionsku opremu koja se koristi na avionskim modelima Boeing 727, Douglas DC-9 i Douglas DC-10, kao i na ranim modelima Boeing 737, Boeing 747 i Airbus 300. Svi standardi serije 500 prikazani su Tablicom 2.

Tablica 2. Standardi serije 500

Standard	Opis
535A	535A Lightweight Headset and Boom Microphone
538B-1	538B-1 Hand-Held Microphone
542A	542A Digital Flight Data Recorder
561-11	561-11 Air Transport Inertial Navigation System (INS)
562	562 Terrain Awareness and Warning System (TAWS) - Analog
566A-9	566A-9 Mark 3 VHF Communications Transceiver
569	569 Heading and Attitude Sensor (HAS)
573-7	573-7 Aircraft Integrated Data System Mark 2 (AIDS Mark 2)
574	574 Passenger Announcement, Entertainment and Service Multiplex System (PAX)
577-1	577-1 Audible Warning System
578-4	578-4 Airborne ILS Receiver
579-2	579-2 Airborne VOR Receiver
580	580 Mark 1 OMEGA Navigation System
585-2	585-2 Electronic Chronometer System
591	591 Quick Access Recorder for AIDS System (QAR)
594-4	594-4 Ground Proximity Warning System
595	595 Barometric Altitude Rate Computer (BARC)
596-4	596-4 Mark 2 Airborne SELCAL System
599-1	599-1 Mark 2 OMEGA Navigation System

Izvor: https://www.arinc.com/cf/store/catalog.cfm?prod_group_id=1&category_group_id=2, 04.11.2012.

4.2.3. Standardi serije 600

Standardi serije 600 definiraju onu tehnologiju koja pruža dizajn opreme naveden po ARINC 700 serije digitalnih avionskih sustava. Standardi serije 600 su dominantni u avionskim paketima standarda i predstavljaju avionske modularne jedinice.

ARINC standarda serije 600 ima preko 90, a najznačajniji su:

1. ARINC 604 – standard i smjernica za potrebe izrade i instalacije testne opreme u samom zrakoplovu.
2. ARINC 615 – standard koji pokriva učitavanje podataka, zajednički se koristi za prijenos softvera i podataka na ili sa avionskih uređaja
3. ARINC 624 – standard za održavanje sustava zrakoplova. Koristi ARINC 429 za prijenos podataka između ugrađene opreme

4. ARINC 629 – standard za multiprijenosnu sabirnicu podataka koju može koristiti i do 128 različitih jedinica
5. ARINC 633 – standard zračnog prostora za ACARS i IP mreže koji se koristi za AOC (Aeronautical Operational Control) podatke između zrakoplova i zračnog prostora.
6. ARINC 653 – standardno sučelje operativnog sustava realnog vremena (Real Time Operating System, RTOS) za podjelu računalnih resursa u vremenu i prostoru
7. ARINC 660 – definira funkcionalnu alokaciju zrakoplovnih instrumenata
8. ARINC 661 – definira strukturu podataka koja se koristi kod interaktivnog kokpit displeja (Cockpit Display System, CDS) i komunicira između CDS –a i korisničkih aplikacija.

4.2.4. Standardi serije 700

Standardi serije 700 opisuju oblik, stanje i funkciju avionske opreme instalirane uglavnom na transportnim zrakoplovima.

Najznačajniji standardi serije 700 su [6]:

1. ARINC 702A – definira sustav za upravljanje letom (Flight Management Systems, FMS)
2. ARINC 704 – definira inercijalni referentni sustav (Inertial Reference System, IRS)
3. ARINC 708 – standard za zračni radar za vremensku prognozu. Karakterističan je i za civilne i vojne zrakoplove
4. ARINC 709 – definira Opremu za mjerenje udaljenosti (Distance Measuring Equipment, DME)
5. ARINC 717 – definira prikupljanje podataka o letu za snimanje
6. ARINC 739 – standard za višenamjensku kontrolu (Multi-Purpose Control and Display Unit, MCDU) i sučelja
7. ARINC 750 – definira VHF digitalni radio

4.2.5. Standardi serije 800

Standardi serije 800 obuhvaćaju niz zrakoplovnih standarda za zrakoplove, uključujući i optička vlakna koja se koriste u prijenosu podataka visoke brzine. Najpoznatiji standardi serije 800 su [7]:

1. ARINC 801-807 – standard koji definira primjenu optičkih vlakana na zrakoplovu
2. ARINC 811 – standard koji omogućuje zajedničko razumijevanje informacijske sigurnosti koja se odnosi na zračne mreže, i pruža okvir za ocjenjivanje sigurnosti umreženih sustava u zraku
3. ARINC 812 – standard za integraciju umetaka i dijelova zrakoplova i pripadajućih sučelja
4. ARINC 816 – standard koji definira bazu podataka za karte zračnih luka
5. ARINC 817 – standard koji definira digitalna video sučelja niske brzine
6. ARINC 818 – standard koji definira digitalna video sučelja visoke brzine razvijena za mreže visoke propusnosti, niske latencije i nekomprimiranog digitalnog video prijenosa.
7. ARINC 821 – standard koji definira mreže na najvišoj razini, koja opisuje zrakoplovne domene, podatkovne servere te ostale infrastrukture
8. ARINC 822 – standard za Gatelink.

4.3. ARINC 429

ARINC 429 je prvi puta objavljen 1977. godine i od tada je postao najkorišteniji ARINC standard u zrakoplovnoj industriji. Naziv ovog zrakoplovnog standarda korišten je kako bi se opisao skup podataka koje sadrži. ARINC 429 je stroj za prijenos podataka i ne odgovara klasičnoj definiciji te baze podataka. Tipični skup podataka pruža multidirekcijski prijenos podataka između višestrukih točaka preko jednostavnih spojeva žica. ARINC 429 je jednostavan, jednosmjerni tok podataka značajno ograničenog kapaciteta, ali ga karakteriziraju niski troškovi i integritet instalacije koje pružaju zračne luke sa sustavom i kao takav uspješno radi već više od dva desetljeća.

U ranim 1970-ima zračne luke prepoznale su potencijalne prednosti implementacije digitalne opreme. Neka digitalna oprema je već bila implementirana do određenog stupnja. Postojala su tri transportna zrakoplova: Airbus 310, Boeing 757 i Boeing 767. U svojim okvirima i sa svojom opremom zračne luke uspostavile su ciljeve za stvaranje novog okvira digitalne tehnologije. Digitalizacijom u zrakoplovnoj industriji javile su se potrebe za prijenosom podataka između jedinica zrakoplovne opreme [8].

Mnogi jednostavni odašiljači i prijemnici su se koristili u zrakoplovstvu ranih 1970-ih. To se pokazalo pouzdano i učinkovito u odnosu na složenije baze podataka tog vremena. Ti sustavi prijenosa opisani su u ARINC specifikaciji 419, i smatrani su kao kandidati za novi digitalni zrakoplov.

Iako nitko iz sustava ARINC nije mogao adekvatno obaviti zadatak, svaki od njih je iznio poželjne osobine koje bi mogle biti uvrštene u novom dizajnu. Rezultat je bio razvijanje novog sustava za prijenos podataka izložen visokoj razini učinkovitosti, iznimno dobre pouzdanosti i jednostavnog certificiranja.

ARINC 429 postao je industrijski standard. Počeo se naširoko koristiti u avio industriji, a čak je pronašao primjenu i izvan avio industrije, primjerice u vojnim krugovima. Počeo se koristiti i kao standard za gotovo sve ARINC standarde serije 700.

Do 1980. godine nije bilo značajnijih promjena u dizajnu. Nakon te godine kada je ustanovljeno da su žice prekratke za rad s podacima, stvoren je novi uređaj s puno manje šuma u komunikaciji. Promjene su se dogodile i kod prijemnika napona.

4.3.1. Korištenje ARINC 429 standarda

ARINC 429 standard određuje kako avionska oprema i sustavi komuniciraju na komercijalnim zrakoplovima. Specifikacija definira elektronske karakteristike, strukturu riječi i standard potreban za uspostavljanje komunikacije. ARINC 429 koristi jednostavan splet baze podataka, standardni Mark 33. ARINC 429 definira i hardver i format podataka potreban za prijenos. Hardver sadrži jednostavan prijenosnik ili izvor spojen na 1 do 20 primatelja. Podaci se mogu prenijeti samo u jednom smjeru, s dvosmjernim prijenosom koji zahtijeva dva kanala. Uređaji, jedinice koje zamjenjuje linija (Line Replaceable Units, LRU) su najčešće konfigurirane u zvjezdanu ili sabirničku topologiju. Svaki LRU može sadržavati višestruke prijenosnike i prijemnike. Ta jednostavna arhitektura „point to point“ ožičenja, pruža vrlo pouzdan prijenos podataka. Prijenosnik može odgovoriti samo na broj prijema unutar baze, do najviše 20 sa svim kontinuiranim praćenjem podataka, ali se primitak podataka ne može potvrditi [9].

Prijenos iz izvora LRU sastoji se od 32-bitnih grupa simbola, od kojih 24-bitni dio sadrži stvarne podatke, a 8-bitna oznaka opisuje podatke. LRU-i nemaju adresu dodijeljenu preko standarda ARINC 429, nego imaju identifikacijske brojeve opreme koji omogućuju grupiranje opreme u sustave, što olakšava sustav upravljanja i prijenos datoteka. Sekvencijalne grupe simbola su razdvojene najmanje četiri bitnim *NULL* trenucima (nula napon). Korištenjem nultog jaza između riječi, odvojeni satni signal je nepotreban. Prijenos može biti i na niskoj brzini od 12,5 kHz i na visokoj brzini od 100 kHz [11].

ARINC 429 je instaliran na većini komercijalnih zrakoplova kao npr.: Airbus A310/A320 i A330/A340, helikopteri Bell, Boeing 727, 737, 747, 757 i 767 te McDonnell Douglas MD-11. Jednosmjerni ARINC 429 sustav pruža visoku pouzdanost u radu, ali po cijeni težine velike količine žice te ograničenim prijenosom podataka. Upravo zbog ova dva razloga u neke zrakoplove ugrađuju se alternativni sustavi. Boeing je instalirao novi

sustav naveden kao ARINC 629 na svoj 777, dok neki zrakoplovi koriste neke druge alternativne sustave u pokušaju da smanje težinu.

Svaki zrakoplov može biti opremljen s različitom elektroničkom opremom i sustavi se trebaju međusobno povezivati. Velika količina opreme može biti uključena u taj protokol ovisno o zrakoplovu.

ARINC 429 je instaliran na većini komercijalnih zrakoplova kao npr.: Airbus A310/A320 i A330/A340, helikopteri Bell, Boeing 727, 737, 747, 757 i 767 te McDonnell Douglas MD-11. Jednosmjerni ARINC 429 sustav pruža visoku pouzdanost u radu, ali po cijeni težine velike količine žice te ograničenim prijenosom podataka. Upravo zbog ova dva razloga u neke zrakoplove ugrađuju se alternativni sustavi.

Vojni zrakoplovi uglavnom koriste dvosmjerni protokol visoke brzine, specificiran u priručniku *Military Specifications MIL-STD-1553*. Djelomičan popis opreme identificiran u specifikaciji ARINC 429 prikazan je u tablici 3., zajedno sa svojim digitalnim adresama.

Tablica 3. Djelomična ARINC 429 specifikacija

Oznaka opreme	Tip opreme	Oznaka opreme	Tip opreme
001	Flight Control Computer (701)	008	Airborne Weather Radar (708)
002	Flight Management Computer (702)	009	Airborne DME (709)
003	Thrust Control Computer (703)	00A	FAC (A310)
004	Inertial Reference System (704)	00B	Global Positioning System
005	Attitude and Heading Ref. System (705)	00D	AIDS Data Management System
006	Air Data system (706)	010	Airborne ILS Receiver (710)
007	Radio Altimeter (707)	011	Airborne VOR Receiver (711)

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

4.3.2. Ožičenje

Prijenosni medij za ARINC 429 sabirnicu je 78 ohmska upletena parica zaštićena sa uzemljenjem (Slika 1).



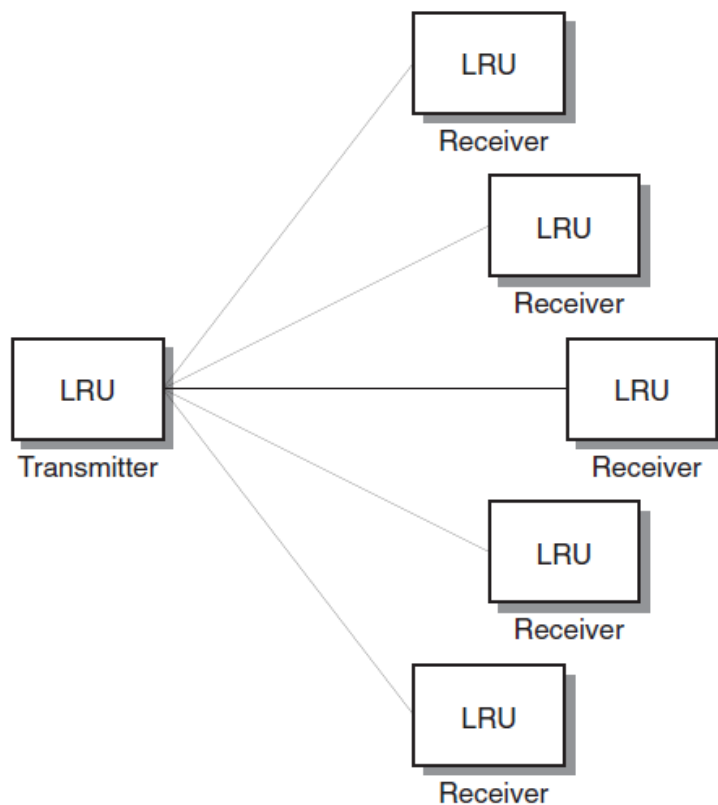
Slika 1. Upletena parica sa uzemljenjem

Izvor: SBS Technologies, ARINC 429 Commentary, 2003

Jedan kraj upletene parice mora završavati u izvoru podataka, a drugi kraj završava u primatelju podataka. Zaštita mora biti uzemljena na oba kraja i na svim spojevima. Kao što će kasnije biti objašnjeno, po sabirnici je dozvoljen samo jedan izvor, ali do dvadeset primatelja. Dozvoljene su dvije vrste topologija: zvjezdana i linijska (Slika 2 i Slika 3). Izvor mora moći baratati sa maksimalnim opterećenjem od 400 Ω . Primatelj podataka mora imati minimalnu efektivnu ulaznu impedanciju od 8 Ω . Duljina prijenosa nije specificirana, djelomično zato jer se prijenos podataka ostvaruje direktnom vezom. Sustavi su većinom dizajnirani da rade na udaljenostima do pedeset metara. Noviji prijenosnici mogu podržati prijenos podataka sa dvadeset primatelja na udaljenosti preko 100 metara.

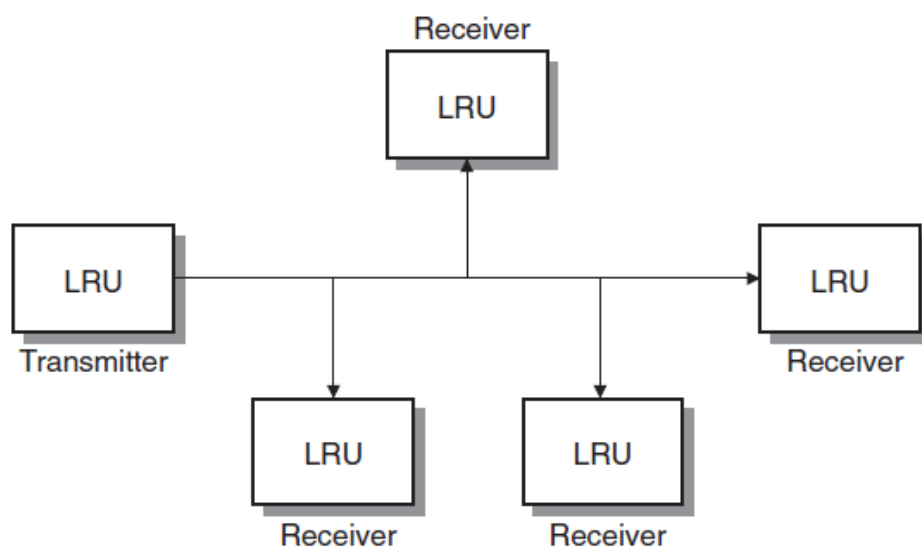
U ranijim konstrukcijama primjenjivala se zvjezdana topologija ožičenja. Smatralo se da je sigurnom, pošto je svaka zamjenjiva jedinica (LRU) imala vlastitu vezu na izvor. Ukoliko je došlo do prekida veze, to je imalo utjecaja samo na tu jednu jedinicu. Ipak, zvjezdana topologija je zbog toga zahtijevala puno više žice, što je uzrokovalo povećanje težine zrakoplova.

Zbog toga je jako zagovarano za korištenje linijske topologije ožičenja koji i dalje sadržava isti broj konekcija, a dobije se znatno smanjenje težine. Također, umjesto više terminatora linije, koristi se samo jedan.



Slika 2. Zvezdana topologija za LRU ožičenje

Izvor: SBS Technologies, ARINC 429 Commentary, 2003



Slika 3. Linijska topologija za LRU ožičenje

Izvor: SBS Technologies, ARINC 429 Commentary, 2003

4.3.3. Karakteristike ARINC protokola

ARINC 429 sabirnica podataka koristi dvije signalne žice za prijenos 32 bitnih znakova. Prijenos uzastopnih znakova odvojen je najmanje četiri bitnim *NULL* trenucima (nula napon). Ovo eliminira potrebu za zasebnom signalnom žicom za vrijeme.

Nominalan prijenos napona je $10 \pm 1V$ između žica bilo s pozitivnim ili negativnim polaritetom. Stoga, svaki dio signala varira između 5V i -5V. Ako je jedan dio +5V, drugi je -5V i obrnuto.

Jedna žica zove se „A“ (ili „+“ ili „HI“) strana, a druga je „B“ (ili „-“ ili „LO“) strana. To je poznato kao *Bipolar return-to-zero* (BPRZ) modulacija. Stanje kompozitnog signala može biti jedan od tri razine:

- HI koji treba mjeriti između 7,25 i 11 volti između dvije žice (A do B).
- NULL koji bi trebao biti između 0,5 i -0,5 (A do B).
- LO koji bi trebao biti između -7,25 i -11 volti (A do B).

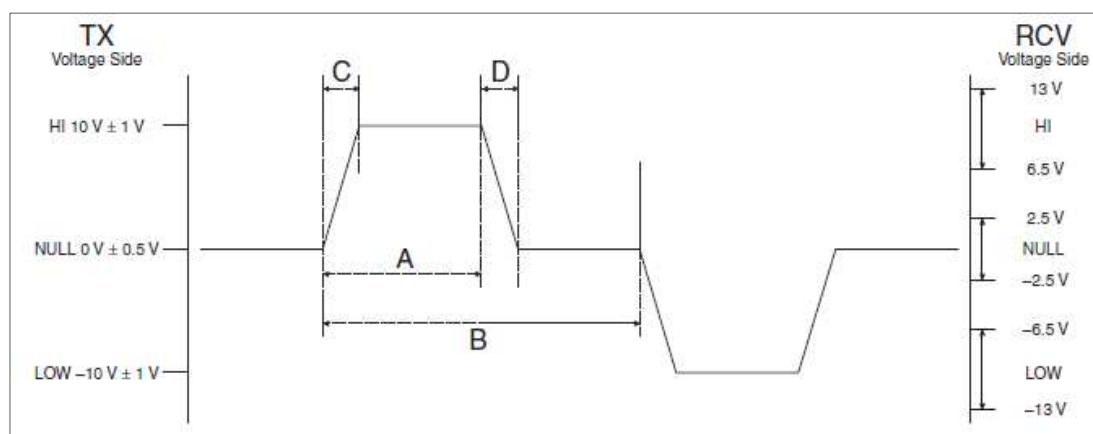
Tablica 4. Karakteristike ARINC-a 429

Električne karakteristike	Vrijednosti
Voltaža, svaki dio sa uzemljenjem	+5V, 0V, -5V
Voltaža, dio A prema dijelu B	+10V, 0V, -10V
Kodiranje bitova	Bipolarni povrat na nulu
Veličina grupe znakova	32 bita
Brzina prijenosa	100K ili 12.5K bita po sekundi
Velika brzina zakreta	1,5 +/- 0,5 μ sec
Mala brzina zakreta	10 +/- 5 μ sec

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

ARINC 429 je vrlo jednostavan, point-to-point protokol. Može se postaviti samo jedan odašiljač na par žica. Odašiljač uvijek emitira 32-bitne grupe znakova ili stanje *NULL*. Postoji barem jedan prijemnik na paru žica, a može ih se postaviti maksimalno dvadeset. U većini slučajeva, ARINC poruka sastoji se od jednog podatkovnog znaka. Polje *Label* u znaku definira vrstu podataka koji se nalaze u ostatku znaka.

Brzina zaokreta odnosi se na vrijeme uspona i pada ARINC vala. Točnije, odnosi se na iznos od vremena koje je potrebno ARINC signalu da naraste od 10% do 90% napona amplitude na ulaznom i izlaznom rubu pulsa.



Slika 4. Karakteristike jednog vala

Izvor: SBS Technologies, ARINC 429 Commentary, 2003

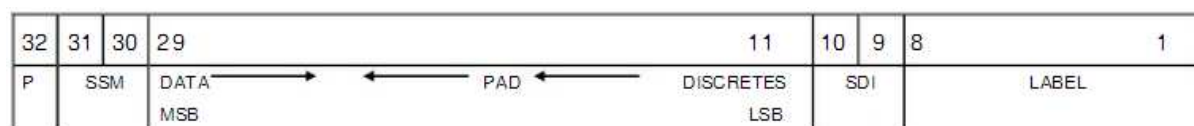
Tablica 5. Karakteristike ARINC bitova

Parametar	Velika brzina	Mala brzina
Brzina prijenosa	100K bita po sekundi	12.5K - 14.5K bita po sekundi
Vrijeme Y (jedan bit)	10 $\mu\text{sec} \pm 2,5\%$	$1 \div (\text{brzina prijenosa}) \mu\text{sec} \pm 2,5\%$
Vrijeme X	5 $\mu\text{sec} \pm 5\%$	$Y/2 \mu\text{sec} \pm 5\%$
Vrijeme rasta signala	$1,5 \pm 0,5 \mu\text{sec}$	$10 \pm 5 \mu\text{sec}$
Vrijeme pada signala	$1,5 \pm 0,5 \mu\text{sec}$	$10 \pm 5 \mu\text{sec}$

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

4.3.4. ARINC 429 format grupe simbola

Arinc grupe simbola uvijek su veličine 32 bita i obično koriste format koji uključuje pet osnovnih polja: *Parity*, *SSM*, *Data*, *SDI* i *Label* (Slika 5). ARINC konvencija numerira bitove od 1 (LSB) do 32 (MSB).



Slika 5. Format ARINC grupe simbola

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

Parity polje

MSB je uvijek kontrolni bit za ARINC 429. U normalnoj situaciji, kontrolni bit je neparan, osim za neke testove. Neparni kontrolni bit znači da mora postojati neparan broj znakova od 1 bita u 32-bitnom simbolu koje je osigurano kao postavljanje ili brisanje kontrolnog bita. Npr., ako bitovi 1-31 sadrže paran broj znakova od 1 bita, bit 32 mora biti postavljen tako da stvori neparni kontrolni broj. S druge strane, ako bitovi 1-31 sadrže neparan broj znakova od 1 bita, kontrolni bit mora biti prazan.

SSM polje

Bitovi 31 i 30 sadrže *Sign/Status Matrix* ili SSM. Ovo polje sadrži stanje hardverske opreme, način rada ili valjanost podataka. Kodovi koji se primjenjuju prikazani su u tablici 6 i tablici 7.

Tablica 6. SSM kodovi za BCD podatke

Bit		Značenje
31	30	
0	0	Plus, Sjever, Istok, Desno, Prema, Gore
0	1	Nema podataka
1	0	Funkcionalni test
1	1	Minus, Jug, Zapad, Lijevo, Prema, Ispod

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

Tablica 7. SSM kodovi za BNR podatke

Bit		Značenje
31	30	
0	0	Upozorenje zbog otkaza
0	1	Nema podataka
1	0	Funkcionalni test
1	1	Normalni rad

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

Data polje

Bitovi 29 do 11 sadrže podatke koji mogu biti u više različitih formata. Nekoliko primjera nevedno je u idućem poglavlju. Također, postoji i puno nestandardnih formata koji su

uvedeni od strane različitih proizvođača. U nekim slučajevima, Data polje može se preklapati sa SDI poljem. U tom slučaju SDI polje se ne koristi.

SDI polje

Bitovi 10 i 9 daju *Source/Destination Identifier* ili SDI. Ovo se koristi kod više prijemnika da bi se identificirao prijamnik kojem se podaci šalju. Koristi se i u slučaju više sustava za identifikaciju izvora prijenosa. U nekim slučajevima, ovi bitovi koriste se za prijenos podataka.

ARINC 429 može imati samo jedan odašiljač na paru žica, ali i do 20 prijemnika.

Label polje

Bitovi 8 do 1 sadrže oznaku koja identificira vrstu podataka i parametre povezane s njima. *Label* polje je važan dio poruke, a koristi se kako bi se utvrdilo vrstu podataka u ostatku grupe simbola, a time i metoda za prijevod podataka. Različite vrste podataka su detaljno opisane u nastavku. *Label* polje obično je predstavljeno kao oktalni broj.

4.3.5. ARINC 429 tipovi podataka

Svi ARINC podaci prenose se u 32-bitnim grupama simbola. Vrsta podataka može biti *Binary Coded Decimal* (BCD), *Complement Binary Notation* (BNR), diskretni podaci (Discrete Data), održavanje podataka i potvrda ispravnog prijama (Maintenance Data and Acknowledgment) te ISO Abeceda#5 podatkovnih znakova. U najnovijim verzijama, paketi poruka mogu se koristiti za prijenos datoteka.

Pretvorba BCD podataka

BCD, ili *Binary Coded Decimal* je česti format podataka koji nalazimo u ARINC 429 i mnogim drugim inženjerskim primjenama. U ovom formatu, četiri bita se dodjeljuju svakoj decimalnoj znamenici. Jedna BCD poruka prikazana je na slici 4. Njena polja podataka sadrže do pet pod-polja. Najznačajnije pod-polje sadrži samo bitove, tako da njegova najveća decimalna vrijednost može biti sedam. Ako je maksimalna decimalna vrijednost veća od sedam, bitovi 29 do 27 su blokirani s nulama tako da drugo pod-polje postaje najznačajnije.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1
P	SSM		CHAR 1			CHAR 2			CHAR 3			CHAR 4			CHAR 5			SDI		LABEL					

Slika 6. Format BCD grupe simbola

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1
P	SSM		0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	SDI		LABEL	
	0	0	2			5			7			8			6										

Slika 7. Primjer formata BCD grupe simbola

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>*Pretvorba BNR podataka*

BNR ili binarno kodiranje također je vrlo čest ARINC format podataka. Ova vrsta kodiranja jednostavno pohranjuje podatke kao binarni broj, kao i svako računalo. Opći BNR forma sastoji se od 32 bita (Slika 8). Bit 29 je bit za označavanje, a bit 28 je najznačajniji bit u polju podataka, koji predstavlja polovicu maksimalne vrijednosti parametra koji se definira.

Negativni brojevi su kodirani kao komplementi pozitivnih vrijednosti. Ako je vrijednost bita 29 jednaka „1“, tada je broj negativan. Inače je pozitivan.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1	
P	SSM		Data																			Pad		SDI	LABEL	

Slika 8. Format BNR grupe simbola

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1
P	SSM	Data																				Pad		SDI	LABEL
0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103

Slika 9. Primjer BNR kodiranja

Izvor: ARINC 429 protocol tutorial: <http://www.aviftech.com>

Mješani formati

32-bitna poruka znakova može također sadržavati i diskretne informacije, miješovito sa BCD ili BNR podacima, ili kao zasebne poruke. Neiskorišteni bitovi u grupi znakova mogu se dodijeliti jedan bit po varijabli, počevši s bitom 11. Ako u grupi znakova nema diskretnih informacija, neiskorištena mjesta popunjavaju se nulama.

Diskretni formati podataka

Veliki broj ARINC 429 znakova su rezervirani isključivo za diskretne informacije. Tablica 6. prikazuje znakove korištene za prijenos podataka s motora.

Tablica 8. Primjer diskretnih formata

Bit	Funkcija	1	0
1	Label 005	X	
2	Label 005		X
3	Label 005	X	
4	Label 005		X
5	Label 005		X
6	Label 005		X
7	Label 005		X
8	Label 005		X
9	SDI		
10	SDI		
11	PAD		X
12	PAD		X
13	Failure to clear serial data interrupt	Fail	Pass
14	ARINC received fail	Fail	Pass

15	PROM checksum fail	Fail	Pass
16	User RAM fail	Fail	Pass
17	NV RAM address fail	Fail	Pass
18	NV RAM bit fail	Fail	Pass
19	RTC fail	Fail	Pass
20	Microprocessor fail	Fail	Pass
21	Battery low	Fail	Pass
22	NV RAM corrupt	Fail	Pass
23	Not used		
24	Not used		
25	Not used		
26	Interrogate activated		
27	Erase activated	Activated	Non-Act.
28	Bit activated	Activated	Non-Act.
29	SSM	Activated	Non-Act.
30	SSM		
31	SSM		
32	Parity (Odd)		

Podaci za održavanje

ARINC 429 također omogućuje prijenos i potvrdu primitka podataka o održavanju te alfanumeričke poruke. Ove funkcije uključuju razmjenu niza poruka, a koriste ISO abecedu #5.

Te vrste poruka sve više se zamjenjuju protokolom orijentiranim na bitove.

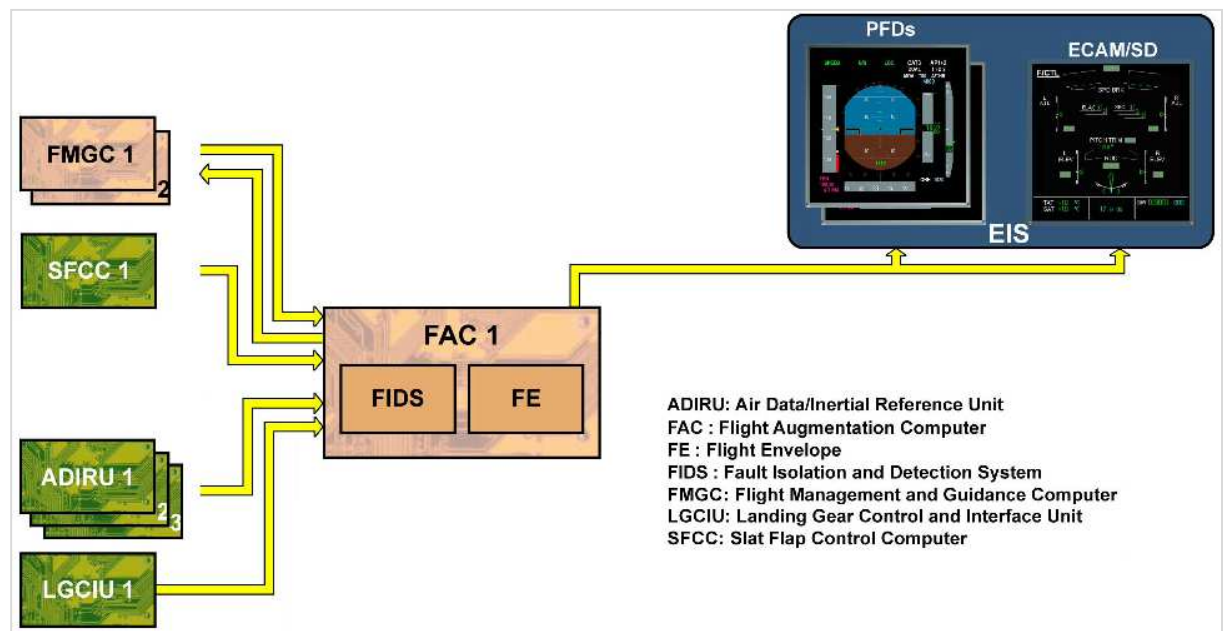
5. REFERENTNI MODEL AVIONSKOG INFORMATIČKO-KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA

Za referentni model odabran je sustav za mjerenje i prikazivanje brzine. Odabrani sustav preuzet je od francuskog proizvođača zrakoplova Airbus, model A320.

Kod Airbus zrakoplova, brzina je dana preko uređaja *Air Data/Inertial Reference Units* (ADIRUs). Karakteristične brzine izračunavaju se koristeći podatke iz sljedećih uređaja: *Air Data/Inertial Reference Units* (ADIRU), *Landing Gear Control Interface Unit* (LGCIU), *Flight Management and Guidance Computer* (FMGC) te *Slat Flap Control Computer* (SFCC).

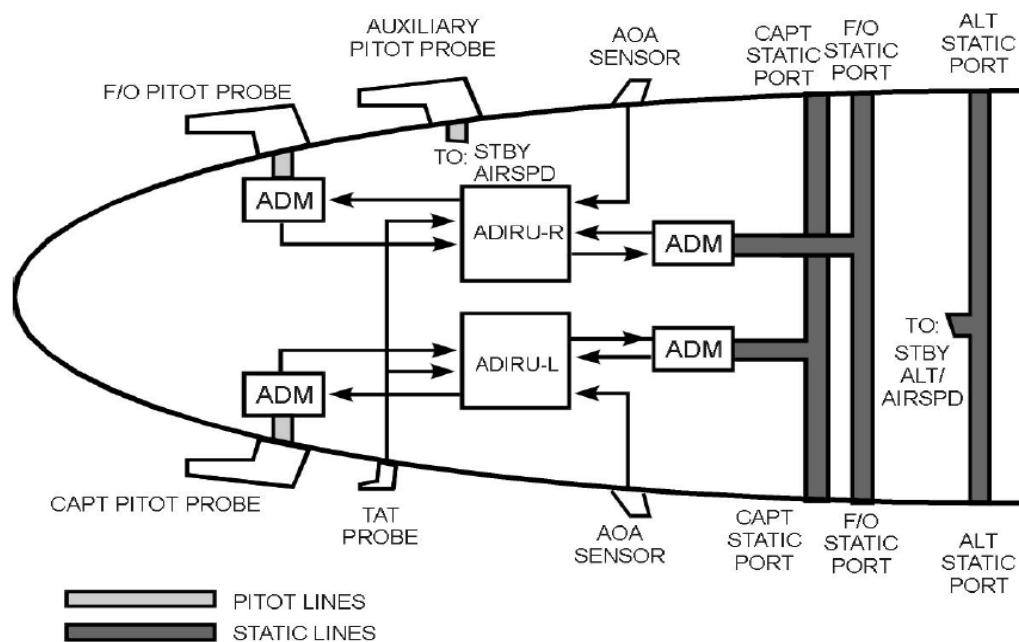
PFD - *Primary Flight Display*

Karakteristične brzine prikazane su brzinskoj skali na *Primary Flight Display* (PFD) zaslonu. PFD uglavnom prikazuje simbole direkcije leta te status funkcije za navođenje i njezine režime. Također prikazuje i parametre za referenciranje, npr. prikazuje ciljanu brzinu kao simbol na mjernoj skali PFD-a [12].



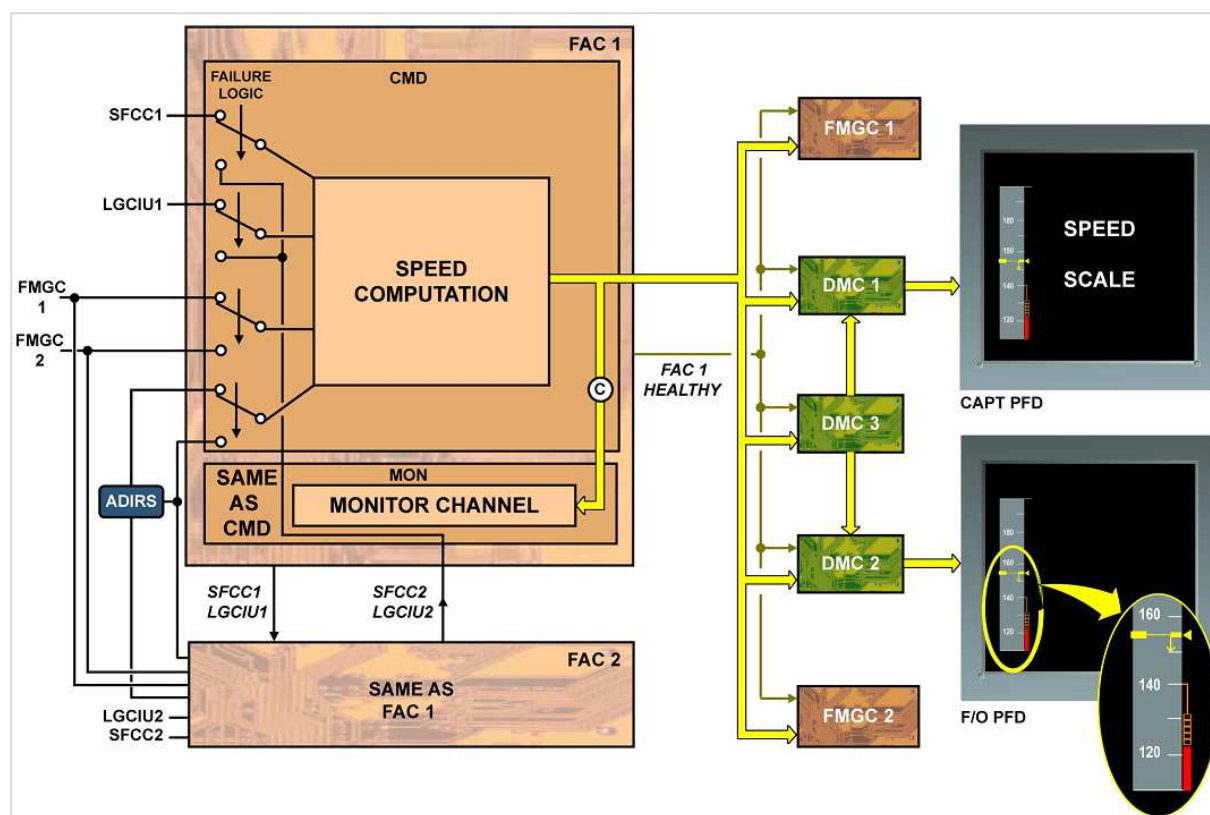
Slika 10. Povezivanje perifernih uređaja sa primarnim zaslonom

Izvor: Airbus A320 technical training manual, Airbus Industrie, May 1992.



Slika 11. Povezivanje perifernih uređaja sa računalom i primarnim zaslonom

Izvor: Sustavi i oprema zrakoplova II, Josip stepanić, FSB, 2010-2011



Slika 12. Računanje brzine u zrakoplovu A320

Izvor: Airbus A320 technical training manual, Airbus Industrie, May 1992.

Gumb za kontrolu referentne brzine / Machovog broja

SPD/MACH gumb za kontrolu referentne brzine može biti izvučen, uvučen ili okretan ulijevo i udesno. Ima ugrađenu oprugu koja ga stavlja u neutralan položaj.

Izvučen

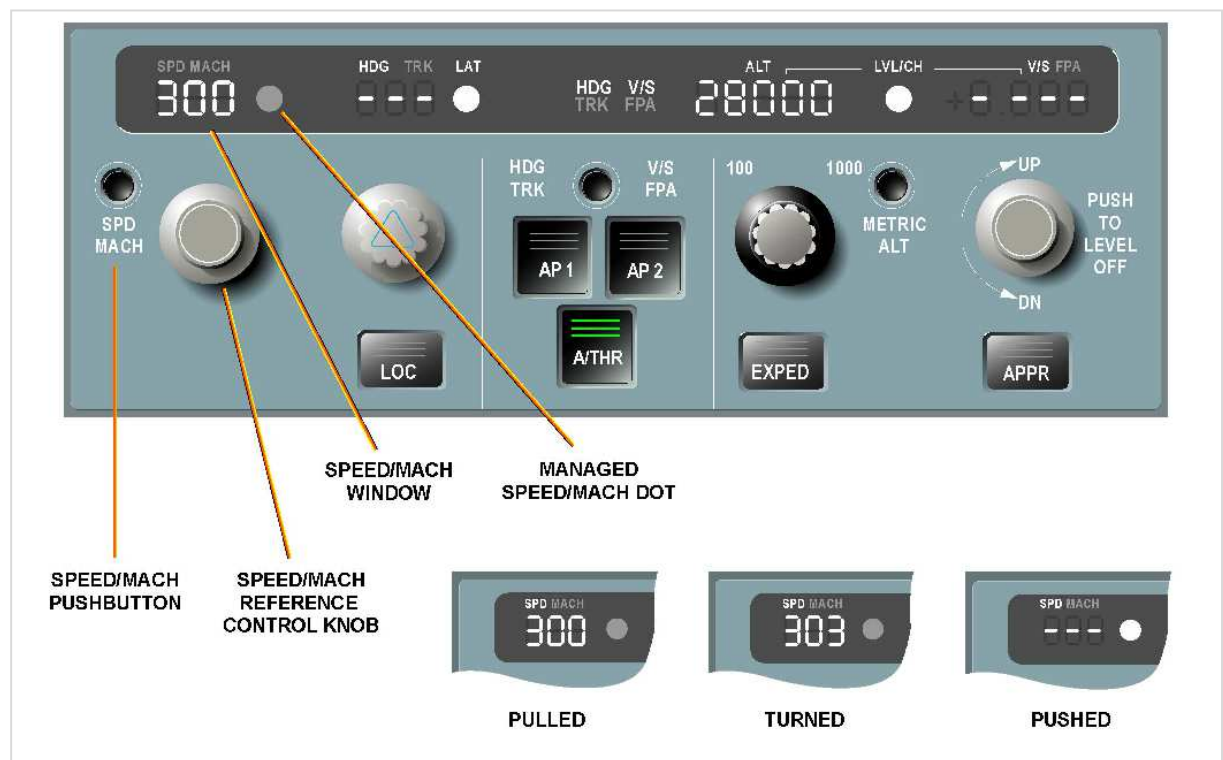
Kada je gumb za kontrolu referentne brzine izvučen, *Flight Management and Guidance Computer* (FMGC) koristi odabranu referentnu brzinu koja se prikazuje na *Flight control unit* (FCU). Pripadajuća lampica SPD/MACH je tada isključena.

Uvučen

Kada je gumb za kontrolu referentne brzine uvučen, prikazuju se crtice, a pripadajuća lampica SPD/MACH je upaljena. FMGC tada koristi upravljanu referentnu brzinu. Ako su na ekranu prikazane crtice, tada nema promjene.

Okretan

Kada se gumb za kontrolu referentne brzine okreće, mijenja prikazanu brzinu. Ako je prethodno bila prikazana brzina, odabrana referentna brzina se mijenja. Ako su bile prikazane crtice, prvi okret ih mijenja u upravljanu referentnu brzinu. Ako se okreće još, vrijednost se počinje mijenjati.



Slika 13. Flight Control Unit (FCU) sa gumbom za kontrolu referentne brzine

Izvor: Airbus A320 technical training manual, Airbus Industrie, May 1992.

6. OPSEG I STATISTIČKA RASPODJELA PODATAKA KORIŠTENIH U POSTAVLJENOM INFORMATIČKO-KOMUNIKACIJSKOM SUSTAVU

U izradu proračuna krenulo se s pretpostavkom da zrakoplov želi letjeti konstantnom brzinom od 200 kt koja je namještena kao referentna brzina na uređaju za upravljanje brzinom. U stvarnosti, ta brzina nikada nije točno 200 kt, nego postoje određene varijacije u pokazivanju brzine zbog različitih utjecaja: fluktuacije, zapusi, vibracije, lokalne nehomogenosti atmosfere, lokalne neuniformnosti brzine, itd. Ove varijacije su ključne za kasnije proračune jer određuju standardnu devijaciju u regularnom stanju postavljenog sustava, te omogućuju (ili onemogućuju) uočavanje greške. Iz tog razloga uzroci fluktuacija moraju biti brojni, i ukupnog utjecaja na oko 1% brzine.

Da bi se dobile nasumične vrijednosti koje odgovaraju stvarnoj situaciji, za proračun je određeno da raspodjela brzina u vremenu slijedi normalnu, tj. Gaussovu raspodjelu. Za granice raspodjele odabrano je odstupanje od 1,5%, dakle određena je normalna raspodjela vrijednosti od (200 ± 3) kt. Ova brzina je uzeta kao primjer u ovom radu, formalizam vrijedi i za sve bilo koju drugu vrijednost odabrane brzine. 200 kt je uzeta kao prilazna brzina zrakoplova Airbus A320 aerodromu, prije finalnog namještanja zrakoplova i izvlačenja podvozja.

Za alat kojim će se provoditi proračuni odabran je Microsoft Excel 2010 pomoću kojeg je numerički model sustava razrađen, postavljen, isprogramiran te verificiran. Svi grafovi također su samostalno nacrtani iz dobivenih rezultata.

Vrijednosti brzina dobiveni su pomoću funkcije za generiranje nasumičnih brojeva te pomoću funkcije za normalnu raspodjelu kojoj su zadani sljedeći parametri:

- srednja vrijednost: 200 kt
- standardna devijacija: 1 kt

Određeno je da će se mjerenje provesti kroz 10 iteracija.

Tablica 9. Generiranje nasumičnih brzina kroz 10 iteracija

1. iteracija	2. iteracija	3. iteracija	4. iteracija	5. iteracija	6. iteracija	7. iteracija	8. iteracija	9. iteracija	10. iteracija
200,9	200,9	199,1	199,7	201,7	201,1	199,5	200,3	200,5	198,5
200,1	200,8	199	197,5	200	199,7	200,3	201,7	202	199,4
201,6	199,6	200,5	201,5	198,8	200,5	200,2	200	200,3	200,3
198,7	201,4	197,9	200,8	201,7	200,3	199,2	202,2	201,5	200,8
200,4	200,9	201,1	201,6	200,2	199,6	200,2	200,4	200,1	199,4
199,6	200,7	199,2	200,5	199,2	201,7	200	199,7	199,6	200,4
200,3	201,2	199,9	200,1	199,7	200	197,6	198,5	198,9	199,4
201	199,8	200,1	201,3	199	201,1	201,6	201	199,4	199,4
199,3	198,6	200	199,5	198,1	200,5	199,4	201	199,7	199,8
200,1	201,5	198,5	199,3	200	199,4	198,7	198,7	200,9	197,7
200,4	199,7	199,8	200,9	200	199,7	199,9	199,6	200,7	200,5
201,5	199,7	202	200,4	199,8	201,9	199,6	197,2	200,4	200,6
200,3	198,1	200,1	200,8	200,2	201,9	201,3	200	200,7	199,4
199	199,1	201	199,7	200	199,6	200,2	199,5	200,1	198,5
199,4	199,4	198,4	199,5	200,1	199,1	198,8	200,2	200,4	199,7
201,4	199,6	199	201,2	198,5	200,5	199,5	199,8	199,3	200,8
201,5	199,3	198,3	198,6	199,6	200,4	200	200,4	200,7	199,3
199	199,2	199,8	200,1	199,7	198,3	201	199,7	200,5	199,5
200,1	200,2	202,3	200,2	200,8	199,3	197,8	198,6	199,1	199,4

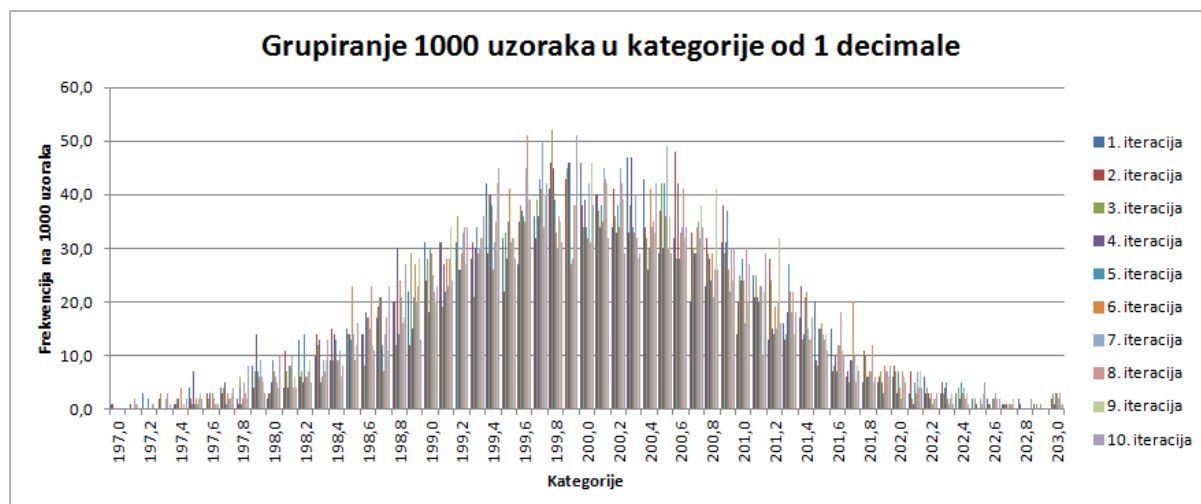
6.1. Grupe podataka i njihova raspodjela

Određeno je da će se rezultati grupirati u 60 kategorija: [197; 197,1; 197,2; ... 202,8; 202,9]. Iz tog razloga su rezultati, nakon što su nasumično generirani, zaokruženi na 1 decimalu.

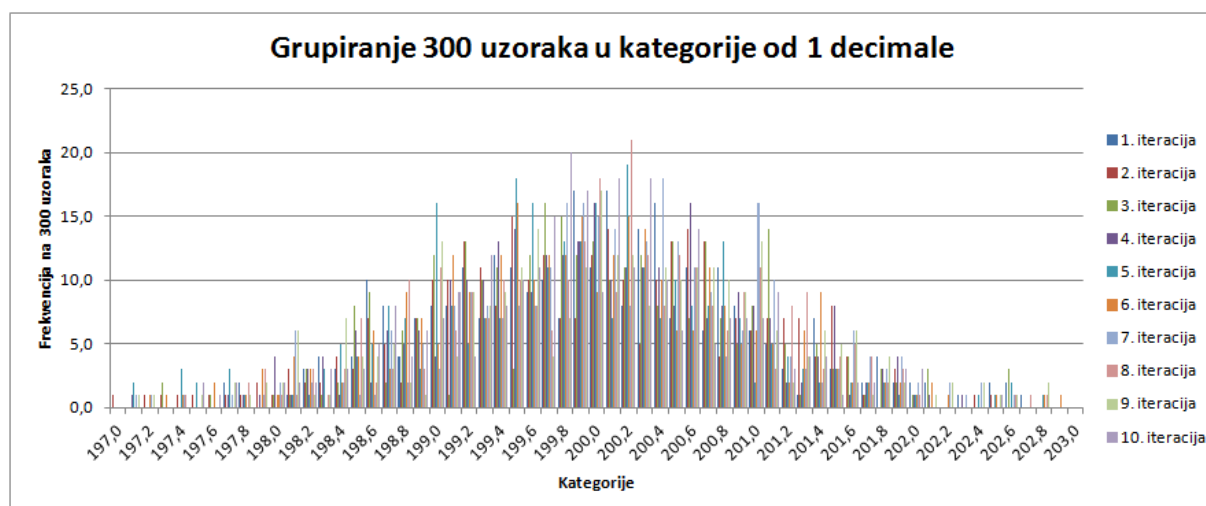
Sljedeće pitanje koje se nameće jest, koliko uzoraka staviti u grupu? Za taj odgovor napravljen je graf koji na osi apscisa ima prije spomenutih 60 kategorija, a na osi ordinata ima frekvenciju uzoraka po kategorijama. Na grafu je prikazano 10 grupa uzoraka (10 iteracija sa po n uzoraka).

Kao početna vrijednost uzeto je 1000 uzoraka. Iz grafa se jasno vidi da krivulja ima zvonoliki oblik, dakle prati normalnu raspodjelu. Nakon toga određena je vrijednost od 100 uzoraka u grupi. Ovdje također primjećujemo zvonoliku raspodjelu frekvencija, ali s puno većom disperzijom, što bi nam kasnije moglo onemogućiti dobivanje preciznih rezultata u daljnjim računanjima. Za konačnu grupu odabrane su još vrijednosti od 500 i 300 uzoraka. Generiranjem velikih količina podataka, vidjelo se da je grupa od 300 uzoraka prihvatljiva za daljnje proračune.

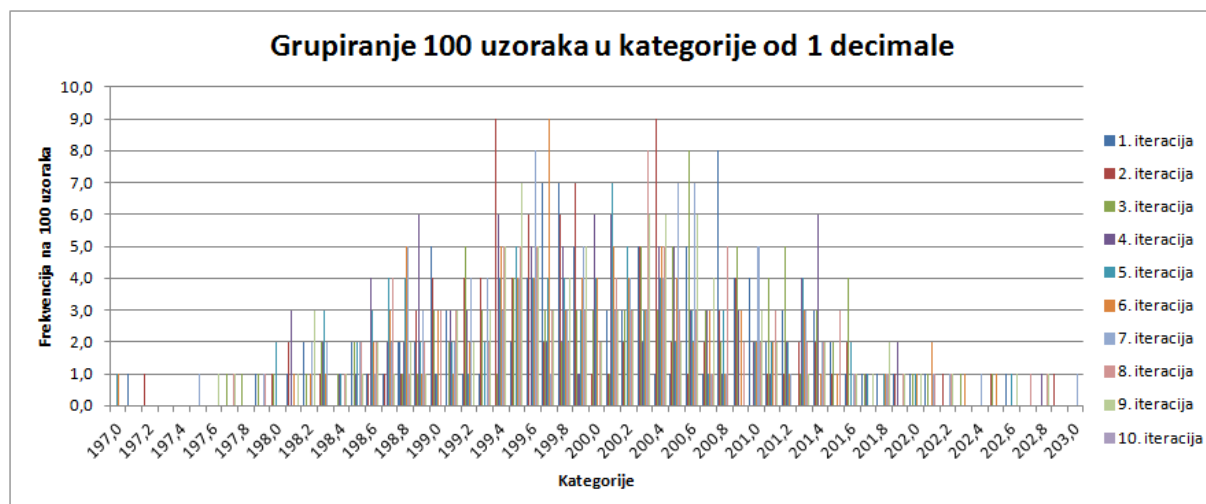
Drugi vrlo bitan kriterij kod odabira veličine grupe je i brzina slanja informacije o brzini zrakoplova. Kod Airbusa A320 brzina slanja ove informacije je 20 milisekundi putem ARINC 429 protokola. To znači da će informacija o brzinama u grupi od 300 uzoraka stići za 6 sekundi. Pošto se u ovom radu pokušavaju predvidjeti greške koje se javljaju postepeno, za razliku od trenutnih otkaza sustava, vremenski razmak od 6 sekundi između dobivanja podataka je prihvatljiv.



Slika 14. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 1000 uzoraka



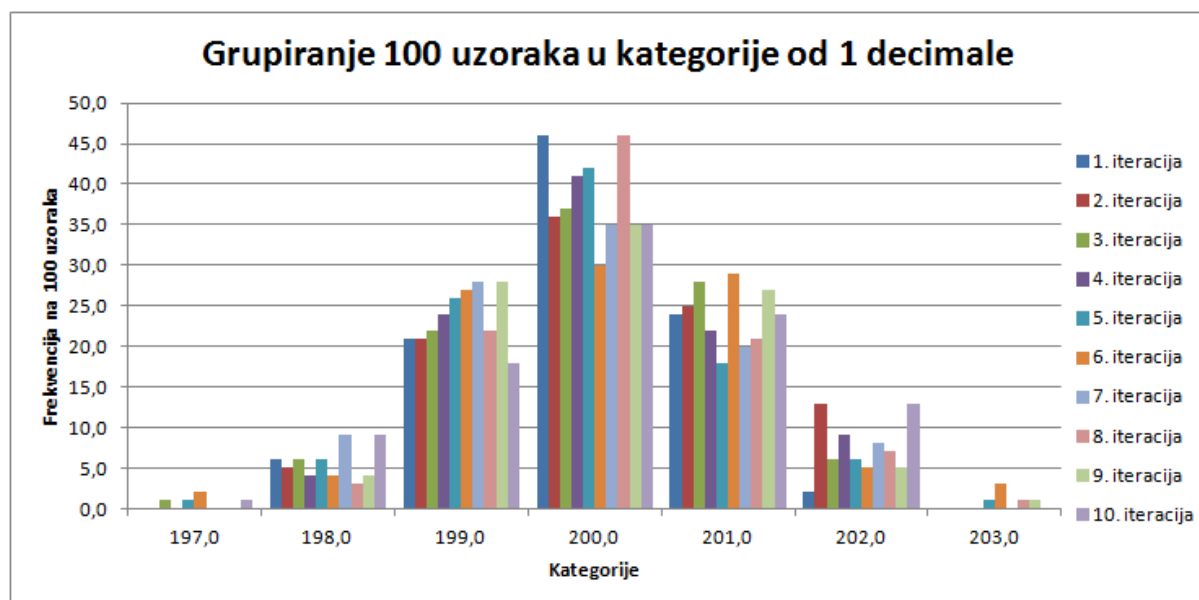
Slika 15. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 300 uzoraka



Slika 16. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 100 uzoraka

U svrhu određivanja veličine kategorije, isprobano je grupiranje uzoraka u kategorije zaokružene na 0,5 i na 0 decimala. Prilikom kasnijih proračuna, ove kategorije su pokazale „pregrubu“ raspodjelu, tako da se ostalo na inicijalnoj ideji od 60 kategorija zaokružene na 1 decimalu.

Kod ovakvog odabira grupe i kategorija također uočavamo zvonoliki oblik grafa.



Slika 17. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 100 uzoraka, raspoređenih u 7 kategorija

7. OPIS REFERENTNIH STANJA

7.1. Informacijska entropija

Entropija je mjera nepredvidivosti ili sadržaja informacije [13].

Za bilo koju varijablu X koja ima vrijednost u konačnom skupu χ , Shannonova entropija definira se kao:

$$H(X) = - \sum_{x \in \chi} p(x) \log_2 p(x) \geq 0 \quad (1)$$

Ova jednadžba kvantificira nejednakost distribucije vjerojatnosti p . Konkretno, minimum $H(X)=0$ postignut je kod konstantne slučajne varijable, tj. varijable s predviđenim ishodom, koji se odražava u potpuno lokaliziranoj distribuciji vjerojatnosti $p(x_0)=1$ i $p(x)=0$ za $x \neq x_0$.

Suprotno od toga, maksimum $H(X)$ jednak je $\log_2(|\chi|)$, za uniformnu distribuciju. $H(X)$ još se označava:

$$S(p) = - \sum_{i=1}^{|\chi|} p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (2)$$

što naglašava činjenicu da je entropija značajka distribucije vjerojatnosti p [14].

Ovu definiciju postavio je Claude E. Shannon 1948. godine u svojem radu *A Mathematical Theory of Communication*.

Primjer:

Ako osoba 'A' u zrak baci novčić i poruči osobi 'B' da je novčić pao na zemlju na jednu od strana, poruka ne sadrži nikakvu informaciju jer osobu 'B' ne lišava dvojbe oko rezultata. 50% je moguće da novčić padne na jednu stranu, odnosno 50% je moguće da novčić padne na drugu stranu. Ali poruka da je novčić po padu pokazao 'broj' ili 'sliku' sadrži novo saznanje o događaju i u sebi sadrži informaciju. Količina informacije u poruci veća je od nule.

Iz ovoga možemo zaključiti da jedno bacanje novčića ima entropiju jednog bita. Niz od dva bacanja novčića ima entropiju od dva bita. Broj bacanja novčića je njegova entropija u bitovima.

Možemo još ovo reći: ako je shema kompresije, tj. sažimanja bez gubitaka (znači da uvijek možemo povratiti cijelu izvornu poruku dekompresijom), onda komprimirana poruka ima istu količinu informacija kao i originalna, ali se komunicira u manjem broju bitova. Dakle poruka ima više informacija po jednom bitu, odnosno ima višu entropiju. To znači da je kompresirana poruka nepredvidljivija, jer nema redundancije, a svaki bit poruke komunicira jedinstveni bit informacije.

7.2. Informacijska entropija na postavljenom sustavu

Nakon što je postavljen referentni model avionskog informatičko-komunikacijskog sustava te je određeno da će se koristiti 10 različitih grupa uzoraka, a u svakoj grupi po 300 nasumično odabranih uzoraka, potrebno je izračunati entropiju za svaku od kategorija u koje su uzorci smješteni. To je napravljeno na sljedeći način:

1. Postavljeno je 60 referentnih kategorija brzina: 197; 197,1; 197,2 ... 202,8; 202,9 (stupac B)
2. Prebrojano je koliko puta se svaki od uzoraka pojavljuje u pojedinoj kategoriji, čime je dobivena frekvencija f . Dalje je tako napravljeno za svih 10 grupa uzoraka (stupci C, F, I,... AD)
3. Izračunat je omjer pojavljivanja pojedine frekvencije u sumi svih frekvencija N . U ovom primjeru $N=300$ (stupci D, G, J,... AE)
4. Izračunata je entropija za svaku od 10 grupa prema formuli iz poglavlja 3.1.1. (crvene ćelije E2, H2, K2,... AF2)

Tablica 10. Računanje entropije postavljenog sustava

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	AD	AE	AF
1														
2					Entropija 1:			Entropija 2:			Entropija 3:			Entropija 10:
3					5,18735521			5,23574772			5,10446786			5,08056291
4		kategorije definirane na 1 decimalu	frekvencija pojavljivanja u 1. iteraciji	f/N: frekv. / suma svih frekv.	D * log (D)	frekvencija pojavljivanja u 2. iteraciji	f/N: frekv. / suma svih frekv.	G * log (G)	frekvencija pojavljivanja u 3. iteraciji	f/N: frekv. / suma svih frekv.	J * log (J)	frekvencija pojavljivanja u 10. iteraciji	f/N: frekv. / suma svih frekv.	AE * log (AE)
5		197,0	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
6		197,1	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
7		197,2	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
8		197,3	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	2,0	0,00667	-0,04819212460	0,0	0,00000	0,000000000000
9		197,4	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
10		197,5	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	2,0	0,00667	-0,04819212460
11		197,6	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	1,0	0,00333	-0,02742939563	1,0	0,00333	-0,02742939563
12		197,7	2,0	0,00667	-0,04819212460	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	2,0	0,00667	-0,04819212460
13		197,8	2,0	0,00667	-0,04819212460	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
14		197,9	0,0	0,00000	0,000000000000	2,0	0,00667	-0,04819212460	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
15		198,0	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563	1,0	0,00333	-0,02742939563	2,0	0,00667	-0,04819212460
16		198,1	1,0	0,00333	-0,02742939563	3,0	0,01000	-0,06643856190	1,0	0,00333	-0,02742939563	2,0	0,00667	-0,04819212460
17		198,2	3,0	0,01000	-0,06643856190	2,0	0,00667	-0,04819212460	3,0	0,01000	-0,06643856190	2,0	0,00667	-0,04819212460
18		198,3	4,0	0,01333	-0,08305091587	2,0	0,00667	-0,04819212460	1,0	0,00333	-0,02742939563	3,0	0,01000	-0,06643856190
19		198,4	3,0	0,01000	-0,06643856190	4,0	0,01333	-0,08305091587	2,0	0,00667	-0,04819212460	3,0	0,01000	-0,06643856190
20		198,5	4,0	0,01333	-0,08305091587	3,0	0,01000	-0,06643856190	8,0	0,02667	-0,13943516508	3,0	0,01000	-0,06643856190
60		202,5	2,0	0,00667	-0,04819212460	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	1,0	0,00333	-0,02742939563
61		202,6	2,0	0,00667	-0,04819212460	0,0	0,00000	0,000000000000	3,0	0,01000	-0,06643856190	0,0	0,00000	0,000000000000
62		202,7	1,0	0,00333	-0,02742939563	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
63		202,8	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000
64		202,9	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000	0,0	0,00000	0,000000000000

Nakon što je izračunata prosječna entropija za 10 iteracija u grupi od 300 uzoraka, potrebno je bilo provjeriti i valjanost trećeg kriterija, broja iteracija. Kao početna vrijednost odabrano je 10 iteracija. Na grupi od 300 uzoraka, prosječna entropija je $H=5,1782$, Slika 18.

Ukoliko se odabere 30 iteracija u kategoriji od 300 uzoraka, dobiva se prosječna entropija od $H_{30}=5,1779$. Razlika $H-H_{30}=0,00029$, iz čega se zaključuje da je 10 iteracija dovoljno za daljnje proračune.

Mjerenja entropija napravljena su i za grupe od 100 te od 1.000 uzoraka, Slika 18.

Entropija 1:	Entropija 2:	Entropija 3:	Entropija 4:	Entropija 5:	Entropija 6:	Entropija 7:	Entropija 8:	Entropija 9:	Entropija 10:
5,325457128	5,298849366	5,316098728	5,319178878	5,291322129	5,354402190	5,308233244	5,316554890	5,281318574	5,314992289
H	5,312640741	1000							
σ	0,020080458								
Entropija 1:	Entropija 2:	Entropija 3:	Entropija 4:	Entropija 5:	Entropija 6:	Entropija 7:	Entropija 8:	Entropija 9:	Entropija 10:
5,187355210	5,235747716	5,104467855	5,166811263	5,154518717	5,245760817	5,155879984	5,175222577	5,275828705	5,080562909
H	5,178215575	300							
σ	0,061154057								
Entropija 1:	Entropija 2:	Entropija 3:	Entropija 4:	Entropija 5:	Entropija 6:	Entropija 7:	Entropija 8:	Entropija 9:	Entropija 10:
4,928696507	4,795365190	5,035434291	4,798688570	5,009855286	4,961335196	4,857244036	5,035434291	4,980916756	4,822146286
H	4,922511641	100							
σ	0,096563208								

Slika 18. Usporedba 10 entropija za grupe od 1.000, 300 i 100 uzoraka. Polje H je srednja vrijednost 10 entropija po grupi, a polje σ (σ) je standardna devijacija za tih 10 entropija

7.3. Opis i dinamika predviđenog stanja

Kada sustav funkcionira ispravno, sa zadanom brzinom od 200kt i odstupanjima (200 ± 3) kt, mjerenjima različitog broja uzoraka dobivaju se neke prosječne vrijednosti entropije (Slika 18). U ovdje razmatranom slučaju sa grupama brzina od 300 uzoraka dobivaju se sljedeće vrijednosti:

- srednja vrijednost entropije: $H = 5,1782$
- standardna devijacija: $\sigma = 0,0611$

Ove vrijednosti uzeti će se kao referentne i prema njima će se provodi daljnje usporedbe, kada u sustavu nastupi greška.

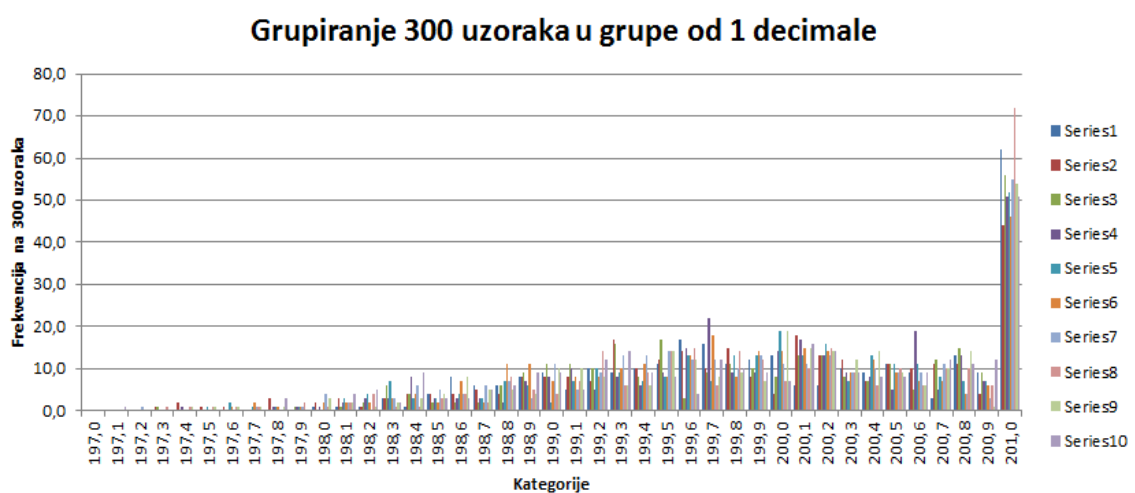
7.4. Opis i dinamika stanja s greškom

U ovom poglavlju opisuje se referentni sustav iz prethodnog poglavlja, a u kojem se pojavljuje greška – neregularno stanje. Razlozi takvog odstupanja mogu biti brojni, ali pretpostavit ćemo da je greška na Pitotovoj cijevi. To za postavljeni sustav znači da će se prilikom kretanja aviona istom brzinom, (200 ± 3) kt, smanjivati gornja (203) ili povećavati donja granica (197) raspona brzina.

Bez daljnjeg preciziranja, modeliramo grešku na sljedeći način: ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju x_{reg} manja ili jednaka nekoj karakterističnoj brzini x_G , onda je u neregularnom stanju indicirana brzina x_{nonreg} jednaka trenutnoj brzini u regularnom stanju. Ali ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju x_{reg} veća od x_G onda je trenutna indicirana brzina u neregularnom stanju x_{nonreg} jednaka x_G . Dakle:

$$x_{\text{nonreg}} = \begin{cases} x_{\text{reg}}, & x_{\text{reg}} \leq x_G, \\ x_G, & x_{\text{reg}} > x_G. \end{cases} \quad (3)$$

Tipična raspodjela podataka iz vremenske serije od $N = 300$ uzoraka brzine za $x_G = 201$ kt prikazana je grafički (Slika 19). Uočljiva je maksimalna frekvencija pojave brzine u vrijednosti 201 kt. Ta razina obuhvaća sve pojave iznosa indicirane brzine veće ili jednake $x_G = 201$ kt u vremenskoj seriji te predstavlja manifestaciju određene pogreške u sustavu. Prikazano odstupanje predstavlja određenu klasu pogreški u senzoru ili drugim cjelinama modeliranog informacijsko-komunikacijskog sustava. Uz drugačije definirano odstupanje (3) moguće je obuhvatiti i različite druge, jednostruke ili višestruke, stacionarne ili nestacionarne, pogreške.



Slika 19. Grafički prikaz 10 iteracija grupe od 300 uzoraka u neregularnom sustavu

Srednju vrijednost i standardno odstupanje informacijske entropije u neregularnom stanju označavamo s $\bar{H}(x_G)$ odnosno $\sigma(x_G)$.

Prema hipotezi (H1) narastanje odstupanja traje određeno vrijeme, tj. greška narasta tijekom određenog broja koraka. Prije nastupanja greške vremenske serije su oslikavale stacionarno regularno stanje.

Nakon što su generirani podaci za sve grupe (Slika 19), 10 iteracija po 300 uzoraka, izračunata je prosječna entropija H za svaku od navedenih grupa,

Tablica 11. U tablici je također prikazano:

- Relativna promjena entropije $(H_G - H)/H$
- Relativna granična vrijednost $(x_G - x)/\sigma$

Tablica 11. Prosječne vrijednosti entropija H u sustavu s greškom

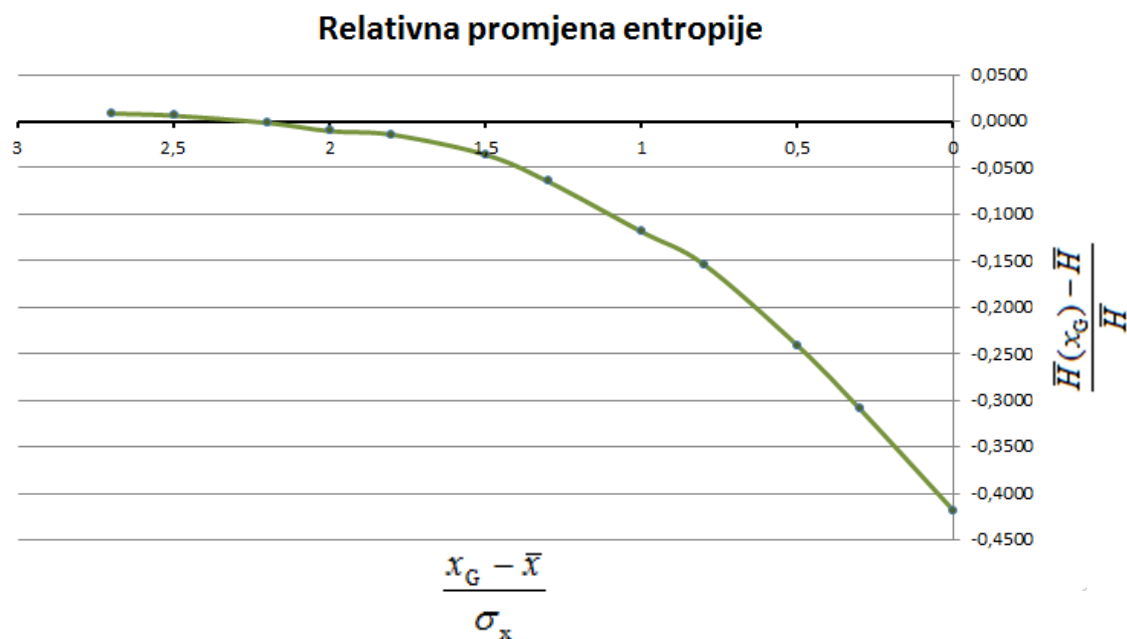
Grupe	197-203	197-202,7	197-202,5	197-202,2	197-202	197-201,8	197-201,5
H	5,1782	5,2218	5,2092	5,1693	5,1235	5,1034	4,9917
$(H_G - H)/H$		0,0084	0,0060	-0,0017	-0,0105	-0,0144	-0,0360
$(x_G - x)/x$		2,7	2,5	2,2	2	1,8	1,5

197-201,3	197-201	197-200,8	197-200,5	197-200,3	197-200
4,8426	4,5636	4,3813	3,9302	3,5775	3,0130
-0,0648	-0,1187	-0,1539	-0,2410	-0,3091	-0,4181
1,3	1	0,8	0,5	0,3	0

Relativna promjena entropije prikazana je grafički (Slika 20), tako da je na ordinati grafa prikazan omjer promjene iznosa srednje informacijske entropije i standardnog odstupanja informacijske entropije regularnog stanja. Na apscisi istog grafa prikazana je razlika karakterističnog, graničnog iznosa pogreške indicirane brzine i srednje vrijednosti indicirane brzine regularnog stanja, podijeljena sa standardnim odstupanjem indicirane brzine regularnog stanja.

Iz grafa jasno je vidljivo kako za malu grešku u sustavu krivulja počinje rasti, nakon čega vrijednost relativne entropije pada ispod nule te dobiva sve strmiji pad. Već iz ovog grafa dobivaju se naznake da, ukoliko se pojavi greška u sustavu, pomoću računanja entropije informacijskog sustava ona se može uočiti.

Os apscisa na grafu namjerno je okrenuta i raste s desna ulijevo, da bi se tijekom krivulje od sustava bez greške pa do sustava u kojem je greška jednaka srednjoj vrijednosti (200 kt), mogao jasnije pratiti s lijeva na desno.



Slika 20. Relativna promjena entropije u ovisnosti o skaliranoj razini pogreške

Zanimljivo je još usporediti promjenu entropije između sustava koji nema grešku te entropije pojedinih grupa kod sustava sa greškom. Ako se npr. uzme sustav u kojem greška ne dopušta mjerenje brzine veće od 201 kt, vidimo da je u tom sustavu vrijednost prosječne entropije $H_G = 4,56362$. Oduzimanjem ove vrijednosti od prosječne entropije sustava bez greške, dobivamo promjenu entropije:

$$H - H_G = 5,1782 - 4,5636 = 0,6146$$

Usporedbom ove vrijednosti sa vrijednosti $\sigma = 0,06115$ u sustavu bez greške, vidljivo je da je nastupila promjena entropije od 10σ . Na grupi od 300 podataka, pri pretpostavljenoj relativno maloj promjeni u brzini ($\sim 1\%$), ovo je jako dobar pokazatelj da se greška u sustavu može pokazati pomoću mjerenja entropije.

8. NUMERIČKA SIMULACIJA DINAMIKE MODELIRANOG SUSTAVA

Nakon što je kroz numerički model definiran sustav koji u sebi ima grešku, potrebno je napraviti simulaciju sustava u kojem će se pojaviti propagacija greške. Greška je predviđena da se manifestira kao maleno zagušenje Pitotove cijevi, a koje s vremenom sve više raste. To znači da će se avion nastaviti kretati istom brzinom, (200 ± 3) kt, a kako se zagušenje Pitotove cijevi povećava, na zaslonu će gornja granica brzine biti sve manja.

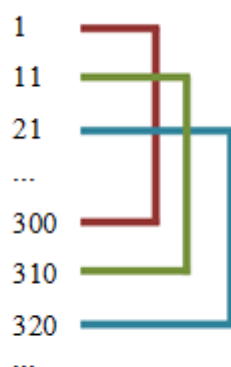
Greška je u numeričkom modelu podataka obrađena na sljedeći način:

1. Kako greška raste, tako je sve manja granična brzina koju Pitotova cijev može izmjeriti. Rast greške u sustavu prikazuje se kao smanjenje granične brzine za 0,2 odnosno 0,3 kt.
2. Pretpostavljeno je da se greška povećava nakon 100 poslanih podataka o brzini zrakoplova. Pri brzini slanja od 20ms, greška se povećava svake 2 sekunde.
3. Pretpostavljeno je da se smanjuje gornja granična brzina koja iznosi 203 kt. Greška je u računskom modelu prikazana kroz sljedeće grupe od 100 uzoraka: 197 – 203; 197 – 202,7; 197 – 202,5; 197 – 202,2; 197 – 202; 197 – 201,8; 197 – 201,5; 197 – 201,3; 197 – 201; 197 – 200,8; 197 – 200,5; 197 – 200,3 ; 197 – 200.

U ovoj obradi uočava se problem s vremenskim intervalom u kojem se šalju podaci. Ukoliko bi se podaci obrađivali svake 2 sekunde, u stvarnom svijetu to bi bio predugačak vremenski interval za praćenje i uočavanje greške u sustavu. Potrebno je osmisliti metodu kojom će se kontinuirano moći pratiti promjena entropije.

Upravo zato odlučeno je da se entropija i dalje računa na setu od 100 podataka u grupi, ali rastućim korakom od 10 podataka. To znači da se nova entropija izračunava nakon 10 poslanih podataka (Slika 21).

S ovakvim modelom dobiveno je da se nova entropija izračunava svakih 200ms, što je vrlo prihvatljivo vrijeme za daljnje proračune.



Slika 21. Shema grupiranja po 300 uzoraka, s korakom od 10 uzoraka

Ponovimo referentne vrijednosti iz sustava bez greške:

- srednja vrijednost entropije: $H = 5,1782$
- standardna devijacija: $\sigma = 0,0612$

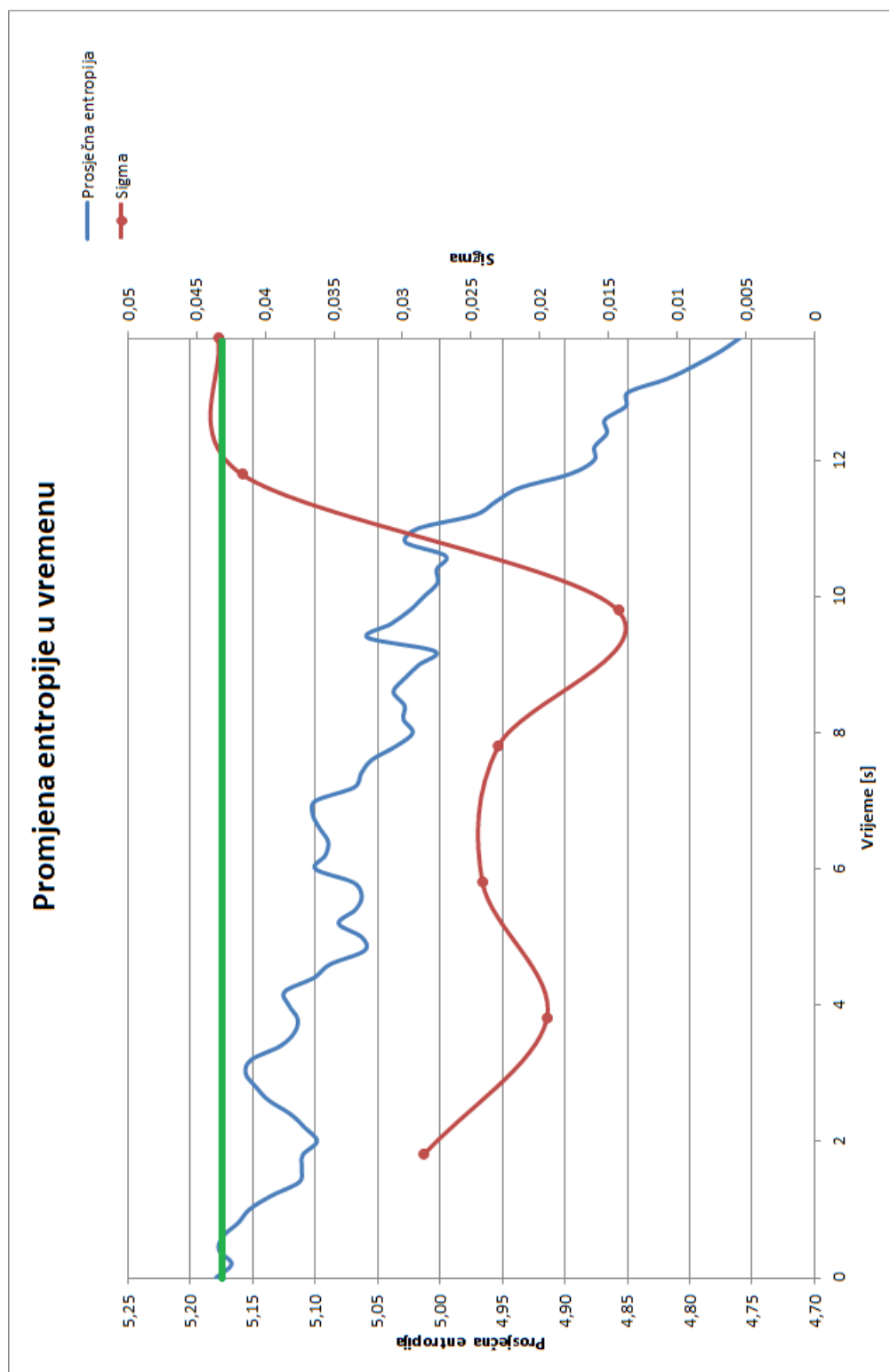
Sljedeći korak je definiranje postojanje greške u sustavu. Određeno je da se greška pojavljuje kada se pojavi odstupanje u vrijednosti 3σ dakle za vrijednosti manje od 4,9947 ili veće od 5,3616. U našem slučaju, pošto je određena pretpostavka da greška kreće od gornje granice raspona brzina, vrijednost koja određuje grešku jest 4,9947.

Napomena: Ovaj pristup je samo ilustrativni, puni pristup ovom problemu tražio bi dodatnu statistiku, a za inicijalno postavljanje modela nije toliko bitan sama vrijednost σ , koliko je bitno prikupiti preliminarne informacije o dinamici entropije.

Tablica 12. Izračunavanje entropije u 70 iteracija od po 100 uzoraka brzina

	A	B	D	F	H	J	L	N	P	R	EH	EJ	EL
1													
2		Vrijeme:	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	13,4	13,6	13,8
3													
4		kategorije definirane na 1 decimalu	Entropija 1	Entropija 2	Entropija 3	Entropija 4	Entropija 5	Entropija 6	Entropija 7	Entropija 8	Entropija 68	Entropija 69	Entropija 70
5			5,17624525	5,15860687	5,17603119	5,17426835	5,15268673	5,15106869	5,12646449	5,11379012	4,80210182	4,76630518	4,75955529
6		197,0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
7		197,1	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
8		197,2	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
9		197,3	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-0,027429	-0,027429	-0,027429
10		197,4	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
11		197,5	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
12		197,6	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
13		197,7	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	0,000000	0,000000	0,000000
14		197,8	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,048192	-0,048192	-0,048192
15		197,9	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027429	0,000000	0,000000
16		198,0	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,048192	-0,048192	-0,048192
17		198,1	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,027429	-0,027429	-0,027429
18		198,2	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	0,000000	0,000000	-0,048192	-0,048192	-0,048192
19		198,3	-0,027505	-0,027505	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,066439	-0,066439	-0,083051
20		198,4	-0,066612	-0,066612	-0,066612	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,066612	-0,066612	-0,048192	-0,048192	-0,048192
21		198,5	-0,113158	-0,113158	-0,098697	-0,098697	-0,098697	-0,098697	-0,098697	-0,083264	-0,048192	-0,048192	-0,048192
22		198,6	-0,083264	-0,083264	-0,083264	-0,083264	-0,083264	-0,066612	-0,066612	-0,066612	-0,083051	-0,098448	-0,098448
23		198,7	-0,066612	-0,048321	-0,048321	-0,066612	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,048321	-0,098448	-0,083051	-0,083051
24		198,8	-0,139773	-0,126811	-0,126811	-0,126811	-0,126811	-0,126811	-0,126811	-0,126811	-0,083051	-0,083051	-0,083051
25		198,9	-0,126811	-0,126811	-0,139773	-0,139773	-0,139773	-0,139773	-0,139773	-0,139773	-0,112877	-0,112877	-0,112877
26		199,0	-0,175285	-0,186182	-0,196677	-0,196677	-0,196677	-0,196677	-0,196677	-0,196677	-0,163563	-0,163563	-0,163563
62		202,6	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
63		202,7	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	-0,027505	0,000000	0,000000	0,000000
64		202,8	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
65		202,9	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Određeno je da će se izračunati entropija za 70 iteracija od 100 uzoraka. To je mjerenje u trajanju od 14 sekundi (Slika 22).



Slika 22. Ovisnost srednje vrijednosti entropije neregularnog stanja $\bar{h}(t)$ i pripadnog standardnog odstupanja σ_H o vremenu t . Plava krivulja odnosi se na entropiju (os s lijeve strane grafa), a crvena na standardno odstupanje (os s desne strane grafa). Zelena linija iznosa entropije $\bar{H} = 5,1782$ je referentna vrijednost.

9. ANALIZA REZULTATA

Prema grafu relativne promjene entropije (Slika 20), pri malim odstupanjima od regularnog stanja ($x_G > 202,3$ kt) srednja vrijednost informacijske entropije $\bar{H}(x_G)$ veća je od srednje vrijednosti entropije regularnog stanja \bar{H} . Relativno povećanje iznosi do 1 %. Razloge navedenom povećanju treba tražiti u promjeni oblika raspodjele varijable x – za relativno velike iznose x_G lokalni maksimum raspodjele (na razini upravo x_G) nije izražen i ne prevladava. Međutim, bez obzira na smanjivanje intervala unutar kojeg je raspodjela različita od nule, lokalni ekstrem doprinosi uniformnosti raspodjele, daje veću težinu ekstremnijim vrijednostima indicirane brzine i efektivno povećava nesigurnost u predviđanju indicirane brzine, tj. povećava informacijsku entropiju. Dakle, u toj granici odstupanja definiranih izrazom (3) sustav efektivno postaje neuređeniji prilikom postizanja neregularnosti stanja.

Kako se x_G približava \bar{x} , utjecaj odstupanja je sve veći, tako da je i relativna apsolutna promjena entropije sve veća, a pritom se samoj entropiji smanjuje iznos. To je u skladu s činjenicom da se u tom području znatno smanjuje raspon razina za koje je raspodjela indiciranih brzina različita od nule, čime se smanjuje neizvjesnost u sustavu, predviđanje indicirane brzine postaje izvjesnije, odnosno narastanje odstupanja vodi na uređenje neregularno stanje. Obzirom na razliku $x_G - \bar{x}$ promjena entropije je simetrična tako da je u izrazu (3) bilo dovoljno razmatrati grešku indicirane brzine u jednom krilu raspodjele obzirom na srednju vrijednost regularnog stanja.

Osim samog narastanja odstupanja, posebno su važna sljedeća pitanja:

1. da li je $\bar{H}(x_G)$ značajno različito od \bar{H} ?
2. (ako je odgovor na prethodno pitanje potvrđan) u kojem trenutku τ za dani x_G odstupanje $\bar{h}(\tau)$ postaje značajno različito od \bar{H} ?

Odgovori na navedena pitanja mogu se dati statistički u smislu da se razmatraju raspodjele entropija opisane srednjim vrijednostima \bar{H} odnosno $\bar{H}(x_G)$ i pripadnim srednjim odstupanjima te se prema uobičajenim testovima za zadanu razinu značajnosti provjeri je li razumno tvrditi kako su razlike između raspodjela značajne, odnosno je li razumno tvrditi kako su raspodjele statistički jednakovrijedne. Iznosi razlika pri kojima se za postavljenu razinu značajnosti prihvaća ili odbija tvrdnja o jednakovrijednim

(različitim) raspodjelama nije apsolutno zadan, nego ga treba postaviti nakon temeljitog razumijevanja modela. Na razini ovog rada, obzirom na uvedena pojednostavljenja, nije smisleno postavljati utvrđene granice razlika srednjih vrijednosti entropija.

Zato se pretpostavlja kako za apsolutnu vrijednost razlike srednjih vrijednosti entropija regularnog i neregularnog stanja,

$$R = |\bar{H} - \bar{H}(x_G)| \quad (4)$$

postoji kritični iznos R_{cr} tako da pri $R > R_{cr}$ statistički smatramo kako je odstupanje dovoljno intenzivno da se analizom entropija uoči postojanje greške koja je odstupanje uzrokovalo.

Neovisno o samom iznosu R_{cr} , moguća su tri ishoda:

1. $R \ll R_{cr}$, npr. $R < \sigma_H$ ili neke slične mjere,
2. $R \approx R_{cr}$ te
3. $R > R_{cr}$.

U 1. slučaju odstupanje nije moguće uočiti primjenom analize entropije. U trećem slučaju odstupanje je moguće uočiti primjenom analize entropije u nekom relativno kratkom vremenu τ . U drugom slučaju nije razumno zaključivati o značajnosti utjecaja odstupanja primjenom opisane analize entropija. U nedostatku daljnjih podataka, ovaj se slučaj ne može uzimati u obzir, kao ni slučaj 1. U slučaju mogućnosti generiranja dodatnih podataka koji se odnose na indiciranu brzinu (npr. većom učestalošću uzorkovanja tog podatka), odnosno na drugu mjerenu veličinu funkcionalno povezanu s njom (bilo da je riječ o istoj veličini mjerenoj drugim senzorom, ili kvalitativno drugačiju mjerenu veličinu), postoji mogućnost pretvaranja ovog slučaja u 3. slučaj. Slično tome, u 3. Slučaju moguće je pretjeranim inzistiranjem na što ranijem uočavanju narastanja odstupanja, opet ostvariti 2. slučaj.

Navedena analiza odnosi se na postavljeni model jedne varijable čije se vremenske serije analiziraju. U slučaju većeg broja varijabli, očekuje se da će se pojedina od njih rjeđe pojavljivati, tako da će i narastanje odstupanja a shodno tome i mogućnost njegovog uočavanja, produljiti u vremenu.

S druge strane, višedimenzionalnost, u smislu matematičke neovisnosti mjerenih veličina, omogućuje pouzdanije uočavanje narastanja odstupanja praćenjem većeg broja dimenzija.

To je u skladu s polazišnom idejom, da se ovu metodu primjeni na odstupanja koja narastaju tijekom vremena, koja se zapažaju kao poremećaji na razini cijelog sustava, ili bar većeg broja njegovih elemenata, pri čemu iznos poremećaja na pojedinom elementu nekog avionskog sustava tijekom relativno dugog vremenskog intervala ne prelazi kritičnu vrijednost koja bi dovela do alarma i pokretanja prinudnih postupaka neovisno o promjenama u drugim dijelovima sustava.

10. ZAKLJUČAK

U prvom dijelu ovog rada opisani su ARINC sustavi i standardi koji se koriste u zrakoplovstvu. ARINC standardi danas su najrašireniji standardi u zrakoplovstvu, a detaljnije je opisan, kao posebno važan i sveprisutan, ARINC 429.

U drugom dijelu rada htjelo se istražiti može li se pomoću informacijske entropije, iz već postojećih podataka koji postoje u računalu, uočiti pojava greške prije nego to jedan od postojećih senzora signalizira. To znači da se nije željelo dodavati niti jedan novi dio u avion, dakle masa i energija aviona ostaju kakve jesu, nego se željelo istražiti da li je moguće dobiti nova saznanja iz već postojećih podataka koje računala u avionu već bilježe. Nakon proučavanja rada ARINC sustava, kao reprezentativni sustav odabrao sam brzinomjer.

U radu je primijenjena metoda analize informacijske entropije na podatke koje se odnose na promjenjivo stanje neke mjerene veličine. U slučaju hipotetske greške, popratna promjena veličina vezanih s entropijom koristi se kao indikator pojave i narastanja odstupanja.

Model je principijelne razine, služi kao polazište razvijenijih, utemeljenijih modela, čije postavljanje zahtijeva prethodno poznavanje realističnih raspodjela podataka u regularnim stanjima te realistično modeliranje greške i njenog utjecaja na odstupanja mjerenih i proračunavanih veličina.

Temeljnu vrijednost metode treba tražiti u uočavanju odstupanja koja propagiraju tijekom vremena u nizu elemenata u relativnom malom iznosu odstupanja.

Kompletan numerički model sustava u ovom radu samostalno je razrađen, postavljen, isprogramiran te verificiran od strane autora ovog rada. Svi grafovi samostalno su nacrtani iz dobivenih rezultata. Računske operacije i crtanje grafova napravljeni su pomoću Microsoft Excel 2010 alata.

10.1. Smjernice za daljnji razvoj sustava

Kroz rad je već navedeno nekoliko stvari koje su mogle biti uzete u obzir, ali su iz opravdanih razloga ovdje zanemarene ili izostavljene. Tu je prvenstveno proučavanje datog numeričkog modela na puno većem broju uzoraka mjerenja, kategorija u koje se ti uzorci raspoređuju, te većoj količini iteracija nad kojima se računa entropija. Nakon toga slijedi uzimanje u obzir i ostalih senzora koji su povezani s mjerenjem brzine. Pretpostavka je da bi se s većim brojem senzora greška u sustavu mogla brže identificirati, ali tu pretpostavku bi kroz numeričke modele trebalo provjeriti. I za kraj, da bismo neku hipotezu prihvatili ili odbacili, potrebno ju je i dokazati prema uobičajenim testovima za zadanu razinu značajnosti.

Nakon svega navedenog, jasno je da je određivanje nove metode za pronalaženje greške u nekom informacijskom sustavu opsežan posao, a kada se uzme u obzir da se još i radi o zrakoplovnom sustavu u kojemu faktor sigurnosti mora biti vrlo visok, onda je ovo i dugotrajan posao. Ali ima potencijala za praktičnu primjenu.

LITERATURA

- [1] Srića V., Spremić M.: Informacijskom tehnologijom do poslovnog uspjeha, Sinergija, Zagreb, 2000.
- [2] Spitzer, C.R., ur.: Avionics Development and Implementation, CRC Press, 2006.
- [3] The History of ARINC, <http://www.arinc.com/about/history.html>
- [4] AEEC, AMC, & FSEMC: Aviation Industry Activities Organized by ARINC, http://www.aviation-ia.com/IA_Overview_08Oct.pdf.
- [5] ARINC Voice Services Operating Procedures Handbook, http://www.arinc.com/products/voice_data_comm/air_ground_radio_svc/13393%20Rev.%20V.pdf
- [6] https://arinc.com/cf/store/catalog.cfm?prod_group_id=1&category_group_id=4
- [7] https://www.arinc.com/cf/store/catalog.cfm?prod_group_id=1&category_group_id=63
- [8] SBS Technologies, ARINC 429 Commentary, 2003
- [9] ARINC 429 protocol tutorial, <http://www.aviftech.com>
- [10] Spitzer C.R.: The Avionics Handbook, AvioniCon, Inc., Williamsburg, Virginia, 2001., str. 15

- [11] ARINC429 Specification Tutorial, AIM GMBH, Avionic Databus Solution, November 2012., str.9
- [12] Airbus A320 Technical Training Manual, Airbus Industrie, May 1992.
- [13] Entropy (information theory), <http://en.wikipedia.org>, 20.01.2013.
- [14] Shannon entropy: a rigorous mathematical notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics, <http://www.lptl.jussieu.fr/user/lesne/MSCS-entropy.pdf>, 20.01.2013.